

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



## **Metodologias para a classificação de edifícios de balanço de energia nulo (NZEB) aplicadas a um edifício residencial**

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Ana Sofia Câmara Veiga

Dissertação orientada por:  
Marta João Nunes Oliveira Panão (FCUL)

2015

---

## Abstract

There is a conceptual understanding of a NZEB (*Net Zero Energy Building*) as a grid-connected building which do not require inputs of primary energy over a defined period of their life cycle, nominally, one year. Although, there is not a single, harmonised NZEB definition throughout the EU: it is recognized that different definitions are possible, in accordance with a country's political targets and specific conditions. Therefore, there are various methodologies to establish if a building fills the requirement of NZEB, so it is possible that the same building is classified as NZEB or not, depending on the methodology used. The principal propose of this paper is determine the energy performance level of a residential building (in Évora, Portugal) based on different calculation methodologies.

**Key-Words:** Net Zero Energy Building (NZEB), nearly-Zero Energy Building (nZEB)

## Resumo

Existe um entendimento conceptual unânime de um NZEB (*Net Zero Energy Building*) como um edifício cuja procura de energia primária (líquida) é nula, para um determinado período, nominalmente um ano. No entanto, não existe uma definição pormenorizada acordada internacionalmente: é reconhecido que é possível estabelecer diferentes definições, de acordo com os objetivos políticos e condições específicas de cada Estado-Membro. Assim sendo, na literatura são encontradas várias metodologias diferentes para estabelecer se um edifício é classificado como NZEB. Uma vez que não existe uniformidade em relação ao método a utilizar, o mesmo edifício pode ou não ser considerado um NZEB dependendo da metodologia utilizada. O principal objetivo do presente documento é avaliar o desempenho energético de um edifício residencial (Évora, Portugal) com base em diferentes metodologias e verificar se o edifício cumpre ou não o requisito de NZEB dependendo da metodologia utilizada.

**Palavras-Chave:** Edifício de balanço de energia nulo, Edifícios de balanço quase nulo de energia.

---

---

## Índice

1.	Enquadramento.....	1
2.	Introdução.....	4
3.	NZEB – “Net Zero Energy Building” .....	5
3.1	Princípio base do conceito de NZEB.....	5
3.2	Objetivos da implementação dos NZEB .....	6
3.3	Caminho para alcançar o requisito de NZEB: eficiência energética e oferta de energia de origem renovável.....	6
3.4	NZEB: Um conceito complexo e ambíguo .....	7
4.	nZEB – “nearly Zero Energy Building” .....	10
4.1	Implementação do requisito de nZEB .....	10
4.2	Definição de nZEB.....	10
4.3	Evolução das definições de nZEB aplicadas nos Estados-Membros .....	13
4.3.1	Aplicação na prática da definição de nZEB .....	14
4.3.2	Objetivos intermédios para 2015.....	16
4.3.3	Políticas e medidas de promoção para a implementação de nZEB .....	17
4.4	Definição de nZEB em diferentes Estados-Membros .....	18
5.	Quadro geral comum para uma metodologia de cálculo de desempenho energético.....	22
5.1	Fronteira do sistema .....	22
5.1.1	Fronteira de balanço .....	22
5.1.2	Fronteira física.....	23
a)	Fronteira de utilização de energia.....	23
b)	Fronteira do lote de terreno ( <i>building site</i> ).....	24
c)	Fronteira de “proximidade” ( <i>nearby</i> ) .....	24
5.1.3	Condições de Fronteira.....	28
a)	Funcionalidade .....	29
b)	Eficácia do espaço .....	29
c)	Condições climáticas.....	29

---

---

d)	Padrões de conforto .....	30
5.2	Sistema de Ponderação .....	31
5.2.1	Métrica.....	31
a)	Classificação por energia primária .....	31
b)	Classificação por emissões de CO <sub>2</sub> .....	33
c)	Classificação por políticas de energia nacional.....	33
5.2.2	Avaliação do desempenho energético de edifícios: cálculo de indicadores numéricos relevantes.....	35
a)	Indicador de desempenho energético .....	36
b)	Indicador de energia primária.....	38
c)	Indicador de emissões de CO <sub>2</sub> .....	39
d)	Fração de energia renovável ( <i>Renewable Energy Ratio</i> – RER).....	39
5.2.3	Simetria do sistema de ponderação .....	41
a)	Sistema de ponderação simétrico: uma abordagem de “carga evitada” .....	41
i)	Implicações do sistema de ponderação simétrico.....	42
b)	Sistema de ponderação assimétrico .....	45
i)	Balanco de <i>payback</i> : uma abordagem atributiva.....	45
c)	Abordagem de carga evitada vs abordagem de <i>payback</i> .....	49
5.3	Balanco NZEB .....	51
5.3.1	Período de balanço .....	51
5.3.2	Tipo de balanço .....	51
a)	Balanco de Energia Importada / Energia Exportada .....	51
b)	Balanco de Carga / Geração .....	52
c)	Balanco Líquido .....	52
d)	Balanco Líquido Mensal .....	52
e)	Comparação entre os tipos de balanço .....	53
5.3.3	Eficiência Energética.....	59
5.3.4	Abastecimento Energético.....	59

---

---

5.4	Características de compatibilidade temporal .....	60
5.4.1	Compatibilidade de carga .....	60
5.4.2	Interação com a rede.....	61
6.	Fator de energia primária .....	62
6.1	Definição de fator de energia primária.....	62
6.2	Fatores de energia primária: Valores globais (União Europeia) .....	63
6.3	Fatores de energia primária: Valores nacionais.....	64
6.4	Algoritmo para determinação do fator de energia primária para a eletricidade em diferentes Estados-Membros .....	65
6.5	Determinação do fator de energia primária para a eletricidade em Portugal .....	68
6.5.1	Algoritmo para o cálculo da produção líquida de energia elétrica e térmica em Portugal 70	
6.5.2	Algoritmo para o cálculo do fator de energia primária para a energia elétrica e a energia térmica produzidas separadamente.....	73
6.5.3	Algoritmo para o cálculo do fator de energia primária para a eletricidade produzida através de cogeração.....	75
a)	O que é a cogeração?.....	75
b)	Métodos para contabilização da energia produzida através de cogeração na determinação do fator de energia primária global .....	75
c)	Método “Self-Tuned Average-Local-Productions Reference” (STALPR). .....	76
d)	Cálculo dos fatores de energia primária para a energia elétrica e para a energia térmica produzida através de cogeração, utilizando o método STALPR.....	80
6.5.4	Cálculo do fator de energia primária global para a produção de eletricidade em Portugal 81	
6.5.5	Implicações da redução do fator de energia primária para a eletricidade.....	87
7.	Apresentação do caso de estudo .....	91
7.1	Características do edifício alvo do estudo .....	91
7.2	Necessidades energéticas do edifício alvo do estudo .....	91
7.3	Critérios relevantes para a caracterização de NZEB utilizados no caso de estudo.....	93
7.4	Cenários de oferta de energia .....	94

---

---

7.4.1	Cenário sem sistemas de energia renovável .....	94
7.4.2	Cenário com coletor solar.....	95
7.4.3	Cenário com coletor solar e caldeira a biomassa.....	95
7.4.4	Cenário com coletor solar e bomba de calor .....	95
7.4.5	Cenário com coletor solar, bomba de calor e painel solar fotovoltaico.....	96
7.4.6	Resumo dos cenários de abastecimento energético considerados .....	96
8.	Apresentação e Análise dos Resultados .....	97
8.1	Balço do ponto de vista da fonte ( <i>Source Energy Balance</i> ) .....	97
8.2	Balço assimétrico.....	106
8.3	Balço assimétrico com contabilização da energia incorporada no edifício e nos sistemas de energia renovável (Método de <i>payback</i> ) .....	110
9.	Conclusão .....	112
10.	Referências .....	115
	Alemanha (DE).....	117
	Áustria (AT) .....	117
	Bélgica (BE).....	118
	a) Região de Bruxelas - Capital.....	118
	b) Região de Flanders .....	118
	c) Região de Wallonia .....	119
	Bulgária (BG) .....	119
	Chipre (CY).....	120
	Croácia (HR) .....	120
	Dinamarca (DK) .....	120
	Eslováquia (SK) .....	121
	Eslovénia (SI) .....	122
	Espanha (ES) .....	122
	Estónia (EE) .....	122
	Finlândia (FI).....	123

---

---

França (FR) .....	123
Grécia (EL).....	124
Holanda (NL) .....	124
Hungria (HU) .....	124
Irlanda (IE) .....	125
Itália (IT) .....	125
Letónia (LV).....	126
Lituânia (LT) .....	126
Luxemburgo (LU) .....	127
Malta (MT).....	127
Polónia (PL) .....	127
Portugal (PT) .....	128
Reino Unido (UK).....	128
República Checa (CZ) .....	129
Roménia (RO) .....	130
Suécia (SE).....	130

---

---

## Índice de Figuras

Figura 1 – Cronologia de normas relevantes no âmbito do consumo de energia no sector dos edifícios	2
<b>Figura 2 – Representação do balanço entre as duas principais ações para alcançar o requisito de NZEB: eficiência energética e oferta de energia (adaptado de <i>Sartori et al.</i>, 2012).</b>	<b>7</b>
Figura 3 - Esquematização dos principais conceitos relacionados com a definição de NZEB.	9
Figura 4 - Definições de «edifícios com necessidades quase nulas de energia» (Relatório da REHVA, 2013; Reformulação do EPBD, 2010).	11
Figura 5 - Princípios base do conceito de nZEB (adaptado de diagrama apresentado pelo BPIE).	12
Figura 6 - Estado de desenvolvimento das definições de nZEB aplicadas a edifícios novos pelos Estados-Membros (adaptado de <i>Ecofys</i> , 2014; atualizado com base nos dados do BPIE, 2015).	15
Figura 7 - Estado de desenvolvimento das definições de nZEB aplicadas a edifícios existentes submetidos a grande intervenção pelos Estados-Membros (adaptado de <i>Ecofys</i> , 2014; atualizado com base nos dados do BPIE, 2015).	16
Figura 8 - Principais tipos de metas intermédias estabelecidos pelos Estados-Membros para 2015 (adaptado de <i>Ecofys</i> , 2014).	17
Figura 9 - Principais políticas e medidas implementadas pelos Estados Membros (adaptado de <i>Ecofys</i> , 2014).	17
Figura 10 - Fronteiras do sistema a considerar para avaliação do desempenho energético de edifícios (adaptado de <i>Sartori et al.</i> , 2012 e relatório da REHVA, 2013).	26
Figura 11 - Distinção entre os diferentes tipos de fronteira física: fronteira de utilização de energia, fronteira do lote de terreno e fronteira de “proximidade”.	26
Figura 12 – Fronteiras do sistema e fluxos energéticos relevantes na avaliação do desempenho energético de um edifício. Não existe produção nas proximidades contratualmente ligada ao edifício. (adaptado do relatório da REHVA, 2013).	27
Figura 13 – Ilustração do conceito de fator de energia primária. Neste exemplo, o fator de energia primária é igual a 3 (adaptado de <i>Bourelle et al.</i> , 2013).	32
Figura 14 - Ilustração do conceito de fator de energia primária. Neste exemplo, o fator de energia primária é igual a 2 (adaptado de <i>Bourelle et al.</i> , 2013).	32
Figura 15 - Síntese das principais características das diferentes classificações para avaliação do desempenho energético de edifícios apresentadas na norma <i>EN 15603</i> .	35
Figura 16 – Fronteira de utilização de energia renovável e fluxos de energia relevantes para a determinação da fração de energia primária (RER) (adaptado de REHVA, 2013).	41
Figura 17 - Edifício de balanço de energia nulo com base num sistema de ponderação simétrico: abordagem de «carga evitada». Fator energia primária igual a 3 (adaptado de <i>Bourelle et al.</i> , 2013).	43
Figura 18 - Edifício de balanço de energia nulo com base num sistema de ponderação simétrico: abordagem de «carga evitada». Fator energia primária igual a 1,5 (adaptado de <i>Bourelle et al.</i> , 2013).	43

---



---

Figura 19 - Edifício de balanço de energia nulo com base num sistema de ponderação simétrico: abordagem de «carga evitada». Importação de gás natural e exportação de eletricidade de origem renovável. Fator energia primária igual a 3 (adaptado de <i>Bourelle et al.</i> , 2013). .....	44
Figura 20 - Edifício de balanço de energia nulo com base num sistema de ponderação simétrico: abordagem de «carga evitada». Importação de gás natural e exportação de eletricidade de origem renovável. Fator energia primária igual a 1,5 (adaptado de <i>Bourelle et al.</i> , 2013). .....	44
Figura 21 - Edifício de balanço de energia nulo com base numa abordagem atributiva. Fator energia primária igual a 3 para a energia importada. Não é aplicado fator de ponderação à energia exportada (adaptado de <i>Bourelle et al.</i> , 2013). .....	46
Figura 22 - Edifício de balanço de energia nulo com base numa abordagem atributiva. Fator energia primária igual a 2 para a energia importada. Não é aplicado fator de ponderação à energia exportada (adaptado de <i>Bourelle et al.</i> , 2013). .....	47
Figura 23 - Abordagem de carga evitada vs Abordagem de payback. Fator de energia primária igual a 3 (adaptado de <i>Bourelle et al.</i> , 2013). .....	49
Figura 24 - Síntese das principais diferenças entre abordagem de carga evitada e abordagem de <i>payback</i> . .....	50
Figura 25 - Representação gráfica dos diferentes tipos de balanço: balanço de importação/exportação, balanço de carga/geração e balanço líquido mensal, considerando um sistema de ponderação simétrico (adaptado de <i>Sartori et al.</i> , 2012). .....	54
Figura 26 - Balanço líquido com ponderação assimétrica. Carga > Geração (adaptado de <i>Bourelle et al.</i> , 2014). .....	55
Figura 27 - Balanço carga vs geração com ponderação assimétrica. Carga > Geração (adaptado de <i>Bourelle et al.</i> , 2014). <sup>5</sup> .....	55
Figura 28 - Balanço líquido com ponderação assimétrica. Carga < Geração (adaptado de <i>Bourelle et al.</i> , 2014). .....	56
Figura 29 - Balanço carga vs geração com ponderação assimétrica. Carga < Geração (adaptado de <i>Bourelle et al.</i> , 2014). <sup>6</sup> .....	56
Figura 30 - Principais características dos diferentes tipos de balanço: balanço de importação/exportação, balanço de carga/geração, balanço líquido e balanço líquido mensal. ....	58
Figura 31 - Representação esquemática da área local de interesse com unidades de produção de energia elétrica e térmica em separado e uma unidade de cogeração (adaptado de <i>Beretta et al.</i> , 2012). .....	69
Figura 32 - Processo de cogeração e perdas de energia associadas (adaptado da Galp, Portugal). .....	75
Figura 33 - Representação esquemática da área local de interesse do caso de estudo (Portugal), para o ano de 2013 (adaptado de <i>Beretta et al.</i> , 2012). Os valores de energia térmica e elétrica são apresentados em TWh/ano. ....	82

---

---

Figura 34 – Gráfico da evolução do fator de energia primária total e do fator de energia primária não-renovável para a energia elétrica em Portugal, entre os anos de 1990 e 2013, inclusive (dados disponibilizados pela DGEG).....	83
Figura 35 - Produção bruta e líquida de energia elétrica em Portugal, determinada com base nos dados disponibilizados pela DGEG e pela IEA. ....	84
Figura 36 - Evolução do fator de energia primária total e do fator de energia primária não-renovável e da quota-parte de energia renovável em Portugal, para a energia elétrica, entre os anos de 1990 e 2012, inclusive (dados disponibilizados pela DGEG e IEA). ....	84
Figura 37 - Variação da produção de energia elétrica a partir das principais fontes de energia renovável em Portugal, para os anos entre 1990 e 2012, inclusive (dados disponibilizados pela IEA). ....	86
Figura 38 - Variação da produção de energia elétrica a partir das principais fontes de energia renovável em Portugal, para os anos entre 1990 e 2012, inclusive (dados disponibilizados pela IEA). ....	87
Figura 39 - Comparação entre a energia final a energia primária necessária ao funcionamento de dois sistemas de produção de energia térmica: caldeira a gás natural e bomba de calor induzida a eletricidade (adaptado de <i>Buildings Platform</i> , 2011).....	88
Figura 40 - Comparação entre a energia final a energia primária necessária ao funcionamento de dois sistemas de produção de energia térmica: caldeira a gás natural e bomba de calor induzida a eletricidade (adaptado de <i>Buildings Platform</i> , 2011).....	89
Figura 41 – Principais implicações da redução do fator de energia primária para a eletricidade .....	90
Figura 42 – Representação gráfica dos resultados dos diferentes tipos de balanço realizados para o cenário 5-A, utilizando os fatores de energia primária em vigor em Portugal (Despacho n.º 15793-D/2013).....	99
Figura 43 – Comparação entre o indicador de energia primária não-renovável e indicador de emissões de CO <sub>2</sub> para cenários de oferta baseados em diferentes sistemas de produção de energia térmica (com apoio de um coletor solar): caldeira a gás natural, caldeira a biomassa e bomba de calor, com base em diferentes fatores de energia primária não-renovável e coeficientes de CO <sub>2</sub> . ....	103
Figura 44 – Relação entre o indicador de emissões de CO <sub>2</sub> e a fração de energia renovável. ....	104
Figura 45 – Representação gráfica dos resultados dos diferentes tipos de balanço realizados para o cenário 5-A, utilizando os fatores de energia primária em vigor em Portugal (Despacho n.º 15793-D/2013), em função da compatibilidade de carga (índice REF). ....	109
Figura 46 - Análise comparativa entre os três métodos apresentados .....	111

---

---

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Quadro-Resumo dos principais aspetos relacionados com a definição de nZEB nos diferentes Estados-Membros (adaptado do BPIE, 2015). .....	19
Tabela 2 – Intervalos de valor de $R_{Nt}$ para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de modelo tipo Habitação .....	37
Tabela 3 - Fatores de energia primária recomendados pela EN 15603 (adaptado de 15603:2008, Anexo E). .....	63
Tabela 4 - Fator de energia primária para a energia elétrica em diferentes Estados-Membros (adaptado do relatório <i>Primary energy factors for electricity in buildings</i> da Ecofys, 2011). .....	64
Tabela 5 - Algoritmo utilizado para determinação do fator de energia primária para a energia elétrica em diferentes Estados-Membros (adaptado do relatório <i>Primary energy factors for electricity in buildings</i> da Ecofys, 2011). .....	65
Tabela 6 - Valores a calcular para determinação do fator de energia primária para a energia elétrica em Portugal .....	70
Tabela 7 – Cálculo da produção total líquida de energia elétrica e energia térmica em Portugal, com base nos dados da DGEG, para o ano de 2013. ....	72
Tabela 8 - Cálculo do fatores de energia primária total e não renovável para a eletricidade produzida separadamente em Portugal, com base nos dados da DGEG, para o ano de 2013. ....	74
Tabela 9 - Cálculo do fatores de energia primária total e não renovável para a energia térmica produzida separadamente em Portugal, com base nos dados da DGEG, para o ano de 2013. ....	74
Tabela 10 – Cálculo do fator de energia primária para a eletricidade produzida através de cogeração em Portugal, com base nos dados da DGEG, para o ano de 2013. ....	81
Tabela 11 – Determinação do fator de energia primária para a energia elétrica em Portugal, para o ano de 2013 (Tabela 6 preenchida) .....	82
Tabela 12 - Características do edifício alvo do estudo .....	91
Tabela 13 - Necessidades anuais de energia útil do edifício alvo do estudo .....	92
Tabela 14 – Cenários de abastecimento energético .....	96

---

---

## Siglas

ADENE	Agência para a Energia
AQS	Águas Quentes Sanitárias
BPIE	<i>Buildings Performance Institute Europe</i>
CHP	<i>Combined Heat and Power</i> (Geração combinada de eletricidade e calor)
DGEG	Direcção-Geral de Energia e Geologia
DL	Decreto-Lei
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i> (Diretiva de Desempenho Energético de Edifícios)
GEE	Gases com Efeito de Estufa
IEA	<i>International Energy Agency</i>
NZEB	<i>Net Zero Energy Building</i> (Edifício com balanço de energia nulo)
nZEB	<i>nearly Zero Energy Building</i> (Edifício com balanço de energia quase nulo)
PV	<i>Photovoltaic</i> (Fotovoltaico)
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REF	<i>Renewable Energy Fraction Index</i> (Índice de Fração de Energia Renovável)
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
REHVA	<i>Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations</i>
REM	<i>Renewable Energy Matching Index</i> (Índice de Compatibilidade de Energia Renovável)
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
SER	Sistemas de Energia Renovável
UE	União Europeia
ZEB	<i>Zero Energy Building</i>

---

## 1. Enquadramento

Nos últimos séculos, a população mundial tem vindo a apresentar um crescimento exponencial contínuo. Além disso, o consumo de energia *per capita* também tem vindo a aumentar acentuadamente desde o início da revolução industrial devido ao contínuo desenvolvimento das nossas sociedades, ou seja, não só somos cada vez mais como também cada um de nós consome cada vez mais. Estes dois acontecimentos, aliados à forte dependência em relação aos combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) deixaram marcas indeléveis: as emissões antropogénicas de dióxido de carbono e outros GEE têm vindo a potencializar o efeito de estufa de tal forma que pode vir a trazer consequências muito sérias para um futuro próximo. Destaca-se o aquecimento global, que tem como principais consequências o degelo dos glaciares e subida do nível do mar, alterações do ciclo hidrológico e dos padrões normais de precipitação, alterações na ocorrência de situações climáticas extremas, etc. Devido à contínua expansão dos sectores energéticos, espera-se que o consumo energético continue a aumentar, pelo que a grande preocupação neste momento é que as consequências se agravem para as gerações futuras.

Além disso, a taxa de consumo de combustíveis fósseis é bastante superior à sua taxa de regeneração, sendo portanto cada vez mais importante caminhar para um desenvolvimento sustentável, ou seja, um desenvolvimento suficiente para satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas, ao mesmo tempo que não incentive formas de crescimento económico e social prejudiciais para o ambiente (Portal do Ambiente e do Cidadão).

Torna-se portanto cada vez mais urgente não só procurar soluções para reduzir o consumo energético como também criar alternativas aos combustíveis fósseis para produção de energia. A solução para a primeira passa pela implementação de medidas de racionalização e otimização de energia, medidas estas que contribuem para a diminuição de desperdícios de energia e, consequentemente, o aumento da eficiência energética. Em relação às alternativas aos combustíveis fósseis, várias fontes de energia alternativas têm sido estudadas e exploradas nas últimas décadas, fontes estas que além de serem renováveis são mais “limpas” que os combustíveis fósseis, contribuindo portanto para a redução de emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera.

O aumento do consumo de energia de origem fóssil não só acarreta sérios problemas a nível ambiental como também a nível socioeconómico. No caso concreto de Portugal, a inexorável subida dos preços do petróleo pode vir a ser um grave problema. Portugal é bastante pobre em termos de recursos energéticos de origem fóssil, sendo a maior parte da energia importada de outros países. A dependência energética do país em relação à importação de produtos energéticos é de cerca de 80% do consumo energético total, o que se traduz numa fatura de cerca de 7 a 10 milhões de euros anuais (*Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia*, 2013). Este nível de dependência reduz a capacidade competitiva da economia portuguesa e coloca-a numa posição frágil em relação a futuros choques internacionais.

É portanto do nosso interesse aumentar a capacidade relativa de produção de energia nacional, em particular da produção de eletricidade a partir de fontes de energia renováveis visto que Portugal tem condições climáticas excelentes para tal. A aposta nas fontes de energia renováveis permite a implementação de sistemas energéticos sustentáveis e descentralizados e a diversificação dos recursos primários e dos serviços energéticos, reduzindo assim a dependência energética e garantindo a segurança do abastecimento de energia. A prova disso é que em 10 anos, a dependência energética de Portugal face ao exterior caiu de 90% para 80% devido à aposta feita nas energias renováveis (*Expresso*, 2013).

Um dos principais sectores de consumo energético é o sector dos edifícios. De facto, os edifícios representam 40% do consumo de energia total da União Europeia. O sector está em expansão, pelo que será de esperar um aumento do seu consumo de energia (*Reformulação do EPBD*, 2010). Por

consequente, torna-se necessária a implementação de medidas de racionalização de energia e a utilização de energia proveniente de fontes renováveis neste sector.

A Figura 1 representa uma linha cronológica com as normas relevantes no âmbito do consumo de energia no sector dos edifícios.

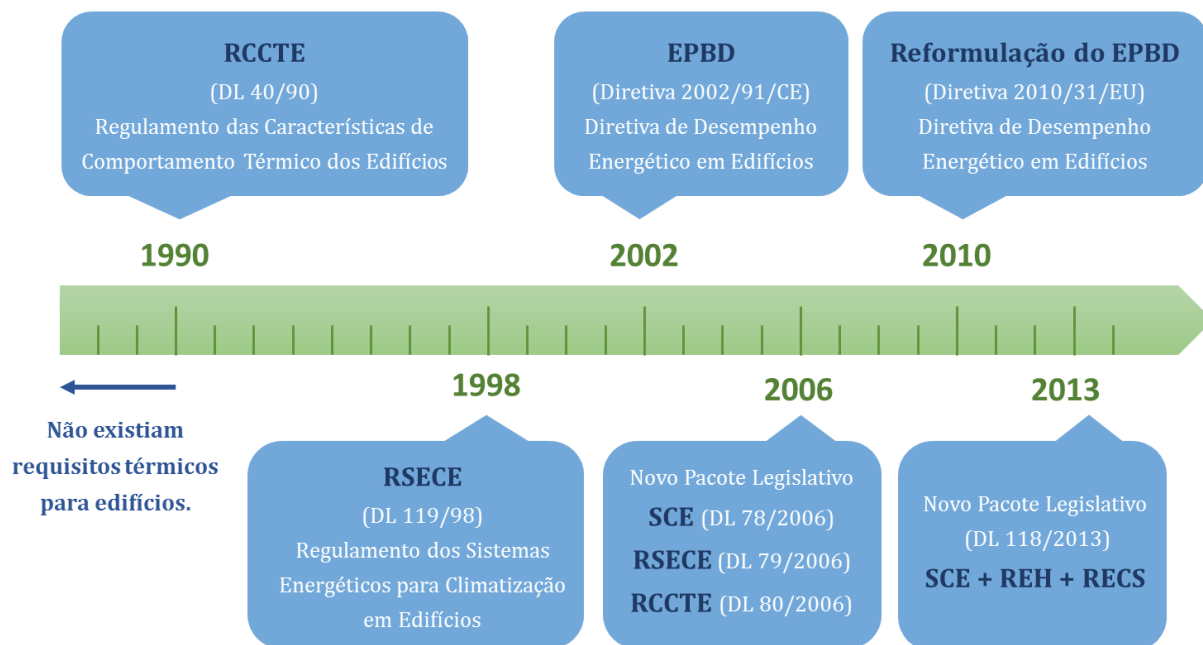


Figura 1 – Cronologia de normas relevantes no âmbito do consumo de energia no sector dos edifícios

Anteriormente a 1990 não existiam quaisquer requisitos térmicos para edifícios em Portugal, pelo que não havia qualquer preocupação relativamente à eficiência energética dos mesmos. Em 1990, foi publicado o primeiro Decreto-Lei no âmbito do consumo energético em edifícios, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, DL 40/90), o qual estabeleceu os primeiros requisitos para edifícios. Relativamente aos edifícios residenciais, nos quais o presente documento se irá focar, os principais requisitos estabelecidos foram valores limite para as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento, o coeficiente de transmissão térmica de elementos da envolvente (*U value*) e o fator solar de vãos envidraçados (ADENE, 2012). Mais tarde, em 1998, foi publicado o Decreto-Lei n.º 119/98, o Regulamento dos Sistemas Energéticos para Climatização em Edifícios (RSECE), o qual estabeleceu requisitos para os sistemas técnicos utilizados nos edifícios.

Em 2002 foi publicada a Diretiva n.º 2002/91/CE, EPBD, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, com o principal objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade. Entre outros, esta Diretiva estabeleceu uma metodologia de cálculo e requisitos mínimos de desempenho energético em novos edifícios, a inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado e a certificação energética dos edifícios (ADENE, 2012).

A aplicação da EPBD implicou a revisão dos Decretos-Lei n.º 40/90 e n.º 119/98 e a consequente alteração dos requisitos anteriores e introdução de novos. A Diretiva EPBD foi portanto transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei n.º 78/2006, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), do Decreto-Lei n.º 79/2006, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e o Decreto-Lei 80/2006, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Este pacote legislativo de 2006 veio impulsionar o aumento da eficiência energética e utilização de energia renovável nos edifícios: entre os novos requisitos relativamente ao RCCTE de 1990, destacam-se os requisitos de produção de energia solar térmica para aquecimento de águas sanitárias (AQS) e os requisitos mínimos para energia primária. Em relação a este último, é de notar que o RCCTE de 1990 só estabelecia requisitos de energia útil: o estabelecimento de requisitos mínimos adicionalmente para a energia primária é claramente um incentivo ao aumento da eficiência energética, isto é, não interessa apenas a quantidade de energia que é consumida no edifício mas também toda a energia consumida para produzir e fazer chegar essa quantidade de energia ao edifício.

A Diretiva EPBD, e a sua transposição para o direito nacional através dos Decretos-Lei n.º 78, 79 e 80 de 2006, teve um grande impacto na qualidade e características do edificado, contribuindo em grande medida para a melhoria da classe energética e da qualidade da envolvente dos edifícios e para o aproveitamento de energia solar para produção de AQS (ADENE, 2012).

Em 2010 foi publicada a Diretiva n.º 2010/31/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010, que veio reformular o regime estabelecido pela Diretiva n.º 2002/91/CE, com o objetivo de clarificar alguns dos princípios do texto inicial e introduzir novas disposições que visam o reforço do quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios. A reformulação da Diretiva EPBD foi transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei n.º 118/2013 (e respetivas Portarias), que aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Entre as novidades da reformulação da EPBD e do DL 118/2013, destaca-se a introdução e promoção do conceito de «edifício com necessidades nulas de energia», o tema central do presente documento. Tal consiste num edifício com uma procura de energia primária não-renovável líquida igual a zero, ou seja, um edifício capaz de devolver à infraestrutura energética a energia que lhe foi fornecida. Uma vez que se chegou à conclusão que muitos locais não reuniam condições suficientes para a implementação destes edifícios, foi introduzido o conceito de «edifício com necessidades quase nulas de energia», o qual passou a constituir o requisito para novas construções a partir de 2020, ou de 2018 no caso de edifícios novos de entidades públicas, bem como uma referência para as grandes intervenções no edificado existente (DL 118/2013).

No entanto, é importante que estejamos cientes de que a transição direta de uma economia baseada em combustíveis fósseis para uma economia baseada em qualquer outra forma de energia é uma utopia. Os combustíveis fósseis são a principal garantia de segurança do aprovisionamento energético, pelo que uma utilização racional de energia passa pela sua utilização. A implementação do requisito de «edifício com necessidades quase nulas» é uma estratégia direcionada para superar esta limitação dada pela infraestrutura energética, a qual é bastante dependente de combustíveis fósseis. A exploração de fontes de energia renovável a nível local e a exportação do excedente para as redes de energia funciona como uma estratégia para aumentar a quota-parte de energia renovável nas redes, reduzindo assim o consumo de recursos não renováveis e as emissões de carbono associadas.

## 2. Introdução

Existe um entendimento conceptual unânime de um «edifício de balanço de energia nulo» ou «edifício com necessidades nulas de energia» (em inglês, «*Net Zero Energy Buildings*» – NZEB) como um edifício com um desempenho energético elevado, capaz de gerar energia a partir de fontes renováveis, de modo a compensar a sua procura de energia (Sartori *et al.*, 2012; Bourelle *et al.*, 2013). A implementação de tal conceito funciona como uma estratégia direcionada para edifícios eficientes a nível energético e quase neutros a nível climático (Sartori *et al.*, 2012), os quais são projetados tendo em vista o cumprimento dos objetivos da UE no que respeita às emissões de gases com efeitos de estufa, à quota de energia produzida a partir de fontes de energia renováveis e à poupança de energia e à sua transição para uma economia hipocarbónica (Reformulação do EPBD, 2010).

Apesar de existir harmonização em relação ao conceito geral, há pouco consenso em relação a uma definição comum com base em análises científicas, isto é, não existe uma definição pormenorizada acordada internacionalmente (Sartori *et al.*, 2012). De facto, o conceito de NZEB foi deliberadamente apresentado de forma vaga, de modo a deixar espaço de manobra aos Estados Membros para estabelecer a sua própria definição. O objetivo é que seja estabelecida uma abordagem comum, sem deixar de respeitar os princípios de subsidiariedade e proporcionalidade (Buildings Platform, 2008). Cada Estado-Membro deve portanto estabelecer a sua própria definição com base nos seus objetivos e condições específicas.

Assim sendo, na literatura são encontradas várias metodologias diferentes para estabelecer se um edifício é classificado como NZEB, as quais diferem a vários níveis: fronteiras de sistema consideradas, tipo de balanço, métrica, sistema de ponderação, requisitos de eficiência energética, etc. No presente documento é feita uma revisão da vasta literatura disponível no âmbito deste tema, sendo analisado de que forma cada um dos aspetos relevantes para a caracterização de um NZEB influencia o resultado final do balanço.

Uma vez que não existe uniformidade em relação ao método a utilizar, o mesmo edifício pode ou não ser considerado um NZEB dependendo da metodologia utilizada. Assim sendo, um dos objetivos do presente documento é avaliar o desempenho energético de um edifício com base em diferentes metodologias e verificar se o edifício cumpre ou não o requisito de NZEB dependendo da metodologia utilizada. O edifício alvo do estudo é uma habitação unifamiliar portuguesa localizada no concelho de Évora (Portugal) cujas características de comportamento térmico foram analisadas no documento “*Certificação energética de edifícios solares passivos: edifícios residenciais*” (Santos, C., Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2013).

Após a tentativa de implementação do conceito de NZEB, chegou-se à conclusão que muitos locais não reuniam condições suficientes para a construção de edifícios capazes de produzir a mesma quantidade de energia que lhes é fornecida, tanto a nível climático e/ou geográfico – pouca disponibilidade de fontes de energia renováveis no local – como a nível económico – condições económicas frágeis, que impossibilitam o investimento neste tipo de projetos (REHVA, 2013). Assim sendo, foi introduzido um novo conceito: edifícios com necessidades quase nulas de energia (*nearly zero energy building* – nZEB). O nZEB passou a constituir o requisito para novas construções a partir do início de 2021, ou de 2019 no caso de edifícios novos de entidades públicas, bem como a referência para as grandes intervenções no edificado existente (DL 118/2013, Reformulação do EPBD, 2010).

A Diretiva EPBD estabelece que os Estados-Membros elaborem planos nacionais para aumentar o número de nZEB, os quais devem incluir: um indicador numérico de energia primária; objetivos intermédios para 2015; e medidas políticas, financeiras e de outros tipos para apoiar a implementação de nZEB, incluindo medidas nacionais e requisitos a respeito da utilização de fontes de energia renováveis. No presente documento é feita uma revisão da literatura relativamente à evolução das definições de nZEB apresentadas por cada Estado-Membro e um resumo do estado atual das mesmas.



### 3. NZEB – “Net Zero Energy Building”

#### 3.1 Princípio base do conceito de NZEB

Primeiramente, é necessário referir que um «*net zero energy building*» é referido na legislação nacional como «edifício com necessidades nulas de energia», existindo também a tradução de «edifício com balanço de energia nulo». No entanto, por uma questão de fluência de texto, no presente documento utilizar-se-á a sigla inglesa NZEB.

Uma vez que na literatura é também utilizado o conceito de «*zero energy building*», ZEB, é importante diferenciar os dois conceitos: O termo NZEB é utilizado para se referir a um edifício ligado a uma infraestrutura energética. De facto, a palavra «*net*», que significa «líquido», salienta o facto de existir um balanço entre a energia que é fornecida ao edifício pelas redes de energia e a energia que o edifício devolve às redes. ZEB é um termo mais geral, que pode também incluir edifícios autónomos (*Sartori et al., 2012*). O presente documento foca-se em edifícios conectados às redes de energia, pelo que será utilizado o termo NZEB.

A definição de NZEB é muito complexa, ou seja, não é linear, uma vez que exige a interligação de vários conceitos. Existe um entendimento conceptual unânime de um NZEB como um edifício com um desempenho energético elevado, capaz de gerar energia<sup>1</sup> a partir de fontes renováveis, de modo a compensar a sua procura de energia (*Sartori et al, 2012; Bourelle et al, 2013*).

Segundo o relatório de 2013 da REHVA, um NZEB é «um **edifício cuja procura de energia primária não-renovável é de 0 kWh/(m²ano)**». Embora não esteja explícito na definição, podendo gerar alguma confusão, esta procura de energia primária é líquida. Ou seja, é importante explicitar que um NZEB não é um edifício que não necessita de energia de origem não-renovável para se sustentar, mas sim um edifício que é capaz de devolver à rede a quantidade de energia que lhe foi fornecida. Um NZEB é considerado «autossustentável» mas não é, de modo algum, um edifício independente da infraestrutura energética. É autossustentável do ponto de vista em que é capaz de devolver tudo aquilo que lhe foi «emprestado».

O balanço da expressão (1) (*Sartori et al., 2012*) representa o conceito base da definição de um NZEB:

$$\text{Oferta ponderada} - \text{Procura Ponderada} = 0 \quad (1)$$

O edifício é considerado um NZEB quando a condição da expressão (1) é satisfeita, ou seja, quando a oferta ponderada iguala a procura ponderada num determinado intervalo de tempo. Caso a oferta ponderada exceda a procura ponderada, o edifício é considerado um «*Plus ZEB*» (relatório da REHVA, 2013).

Um NZEB, sempre que possível, utiliza energia renovável gerada no local (*on-site*). No entanto, as fontes de energia renovável são intermitentes, pelo que nem sempre se reúnem as condições necessárias para gerar a quantidade de energia necessária para suprir a carga energética do edifício. Nessas alturas, o edifício tem que recorrer à importação de energia da infraestrutura energética. Nas alturas em que a geração renovável local é superior à carga exigida pelo edifício, o excedente de energia renovável é exportado para redes de energia, de forma a, pelo menos, devolver toda a energia que foi importada.

---

<sup>1</sup> Tecnicamente, não existe produção de energia mas apenas conversão de energia, uma vez que, segundo a Lei de Lavoisier, "na natureza nada se perde, tudo se transforma". No entanto, por uma questão de fluência de texto, as expressões “produção de energia” e “geração de energia” serão utilizadas neste documento.

### 3.2 Objetivos da implementação dos NZEB

Segundo a reformulação do EPBD (2010), os edifícios representam 40% do consumo de energia total da União. O sector está em expansão, pelo que será de esperar um aumento do seu consumo de energia. De forma a cumprir a meta estabelecida pelo Protocolo de Quioto (manter a subida da temperatura global abaixo dos 2°C e reduzir até 2020 as emissões globais com efeito de estufa em pelo menos 20% em relação aos níveis de 1990), torna-se cada vez mais urgente que todos os Estados-Membros da União Europeia tomem medidas de forma a reduzir o consumo de energia e utilizar energia proveniente de fontes renováveis no sector dos edifícios. Estas medidas têm igualmente um papel importante a desempenhar na promoção da segurança do aprovisionamento energético e na redução da dependência energética da União.

Neste âmbito, foi implementado o conceito de NZEB, uma estratégia direcionada para edifícios **eficientes a nível energético e quase neutros a nível climático** (*Sartori et al.*, 2012).

Em suma, os NZEB são projetados tendo em vista o cumprimento dos objetivos da EU no que respeita às **emissões de gases com efeitos de estufa**, à **quota de energia produzida a partir de fontes de energia renováveis** e à **poupança de energia** e à sua **transição para uma economia hipocarbónica** (Reformulação do EPBD, 2010).

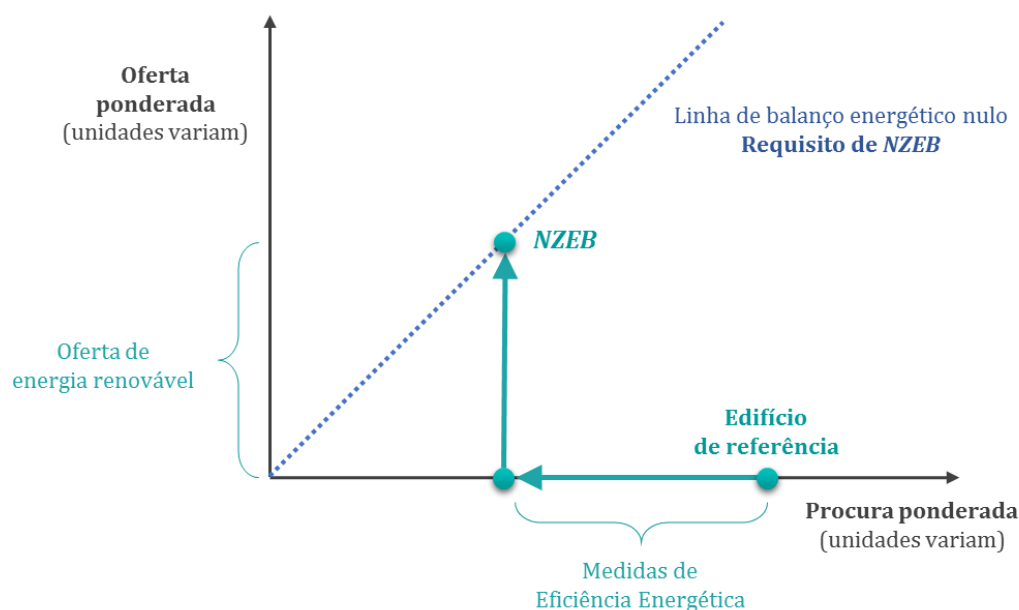
### 3.3 Caminho para alcançar o requisito de NZEB: eficiência energética e oferta de energia de origem renovável

O caminho para alcançar o requisito de NZEB é dado pelo balanço entre duas ações: o aumento da eficiência energética e o aumento da oferta de energia proveniente de fontes renováveis. No entanto, é de salientar que dados experimentais relativos a um grande número de NZEB residenciais existentes revelam que a prioridade deve ser o aumento da eficiência energética (*Voss et al.*, 2011).

A Figura 2, adaptada de *Sartori et al.* (2012), mostra exatamente esse caminho: a linha azul a tracejado representa o requisito de NZEB, ou seja, qualquer edifício representado por um ponto em cima dessa linha é considerado um NZEB; qualquer edifício representado por um ponto acima da linha é um *Plus ZEB*.

O edifício de referência pode representar o desempenho de um edifício novo construído de acordo com os requisitos mínimos das normas nacionais ou de um edifício existente antes de ser submetido a obras de renovação (*Sartori et al.*, 2012). Partindo do edifício de referência, o primeiro passo é reduzir a procura de energia ao máximo, implementando medidas de eficiência energética adequadas. Apenas depois de minimizar a procura de energia é que deve ser realizado o cálculo da quantidade de energia proveniente de fontes renováveis que é necessário fornecer para que o edifício alcance o estatuto de NZEB. Caso não se preceda primeiramente à minimização da procura de energia, isto é, na ausência de aplicação de medidas relevantes de eficiência energética, a potência exigida será muito superior, havendo o risco de instalação de sistemas de produção de energia sobredimensionados, o que vai contra o conceito de NZEB.

De forma a evitar que edifícios ineficientes atinjam o estatuto de NZEB devido a sistemas sobredimensionados, uma definição de NZEB pode impor requisitos de eficiência energética. Da mesma forma, pode incluir uma hierarquia de opções de abastecimento, de modo a favorecer ou prejudicar determinadas tecnologias de produção de energia renovável.



**Figura 2** – Representação do balanço entre as duas principais ações para alcançar o requisito de NZEB: eficiência energética e oferta de energia (adaptado de *Sartori et al.*, 2012).

### 3.4 NZEB: Um conceito complexo e ambíguo

Apesar de existir harmonização em relação ao conceito geral, há pouco consenso em relação a uma definição comum com base em análises científicas, isto é, não existe uma definição pormenorizada acordada internacionalmente (*Sartori et al.*, 2012).

Analisando pormenorizadamente a expressão (1), conclui-se que esta condição pode ser ambígua, podendo levar a diferentes interpretações e levantar bastantes questões: O que se entende por procura e oferta «ponderados», ou seja, quais os fatores de ponderação que devem ser utilizados? A «procura» é a carga energética do edifício ou apenas a energia que é efetivamente importada da rede? A «oferta» é toda a energia produzida localmente ou apenas a energia que é exportada para a rede? O que pode ser considerado «produção local», apenas a energia que é produzida no interior do edifício? A energia produzida por um painel fotovoltaico que se encontra no telhado exteriormente à envolvente do edifício não é considerada energia produzida localmente? Qual o intervalo de tempo que se deve considerar no balanço? Estas e muitas outras questões podem ser levantadas aquando a análise do balanço da expressão (1) e não estão disponíveis respostas nas normas europeias.

De facto, o conceito de NZEB foi deliberadamente apresentado de forma vaga, de modo a deixar espaço de manobra aos Estados Membros para estabelecer a sua própria definição. É reconhecido que são possíveis diferentes definições, de acordo com os objetivos políticos e condições específicas de cada país (*Sartori et al.*, 2013). Tendo em conta as diferentes condições climáticas e geográficas, bem como os diferentes «pontos de partida» em termos de eficiência energética dos edifícios, não seria adequada uma definição comum com as mesmas exigências (*Reformulação do EPBD*, 2010).

Por exemplo, tal como já foi referido anteriormente, uma das principais bases em que se assentam os NZEB é a produção local de energia proveniente de fontes renováveis. Assim sendo, não seria justo comparar um país que reúna condições climáticas e geográficas propícias ao aproveitamento de energias renováveis (por exemplo: elevada radiação solar, elevado número de horas de sol, zonas montanhosas com bastante vento, zonas vulcânicas de junção de placas tectónicas com interesse do ponto de vista de exploração de energia geotérmica, etc.) com outro país com condições mais pobres.

Da mesma forma, também não seria justo comparar dois países em situações económicas diferentes: as tecnologias de energia renovável são muito dispendiosas e têm um custo de investimento inicial muito elevado. Assim sendo, um país desenvolvido numa situação económica estável terá maior facilidade em apostar em tecnologias de energia renovável e de fornecer incentivos financeiros para aumentar o número de edifícios com produção local de energia. Um país que se encontre numa situação económica mais frágil não terá fundos para fornecer tais incentivos e apostar em tecnologias de ponta, pelo que não é justo que o grau de exigência seja o mesmo.

O objetivo é que seja estabelecida uma abordagem comum, sem deixar de respeitar os princípios de subsidiariedade e proporcionalidade (*Buildings Platform*, 2008). Assim sendo, cada Estado Membro deve adaptar a definição de NZEB às suas próprias condições específicas. Tal como já foi referido, o balanço da expressão (1) representa o conceito central da definição de NZEB. No entanto, para a aplicação na prática deste balanço têm que ser avaliados vários aspetos. Cada Estado Membro deve fazer a sua avaliação e apresentar explicitamente as suas escolhas: a métrica adotada para ponderação e comparação de diferentes vetores energéticos, o tipo de balanço escolhido, as fronteiras do sistema consideradas, etc. É de notar que a escolha deve depender das metas nas agendas políticas nacionais e internacionais e não ser exclusivamente conduzida pela viabilidade de projetos de NZEB ou minimização de custos, ou seja, não se deve optar por determinado método ou por determinado tipo de balanço apenas porque dessa forma será mais fácil alcançar o requisito de NZEB.

No entanto, é importante incentivar o processo de harmonização. Assim sendo, de forma a existir alguma consistência nas elaborações de diferentes definições de NZEB, torna-se necessária a existência de um quadro geral comum que tenha em conta todos os aspetos relevantes que caracterizam um NZEB. *Sartori et al.* (2012), apresentou um quadro geral que funciona como uma metodologia para estabelecer definições de NZEB de forma sistemática. Um quadro geral adaptado daquele que foi construído por *Sartori et al* é apresentado no Capítulo 5.

Embora seja o conceito central da definição de NZEB, a satisfação do balanço da expressão (1) não é suficiente para caracterizar totalmente um NZEB. A satisfação do balanço não é, por si só, uma garantia de que o edifício está projetado de forma a minimizar o seu impacto relacionado com a utilização de energia (*Sartori et al*, 2012). É também necessário garantir que o edifício trabalhe beneficemente em relação às necessidades das redes e que não coloque “*stress*” adicional ao seu funcionamento. É, portanto, importante estabelecer características capazes de avaliar a capacidade de um edifício trabalhar em sinergia com a rede. Neste documento, serão apresentadas duas características de compatibilidade temporal de energia, mencionadas em *Sartori et al* (2012) e no relatório da *REHVA* (2013): a compatibilidade de carga, que corresponde à capacidade do edifício coincidir a geração local com a própria carga do edifício, e a interação com a rede, que corresponde à capacidade do edifício de coincidir a geração local com as necessidades das redes locais. Estas características são apresentadas com maior detalhe no subcapítulo 5.4.

Devido à complexidade da definição de NZEB, o esquema da Figura 3 foi elaborado na tentativa de resumir os principais conceitos relacionados com tal definição.

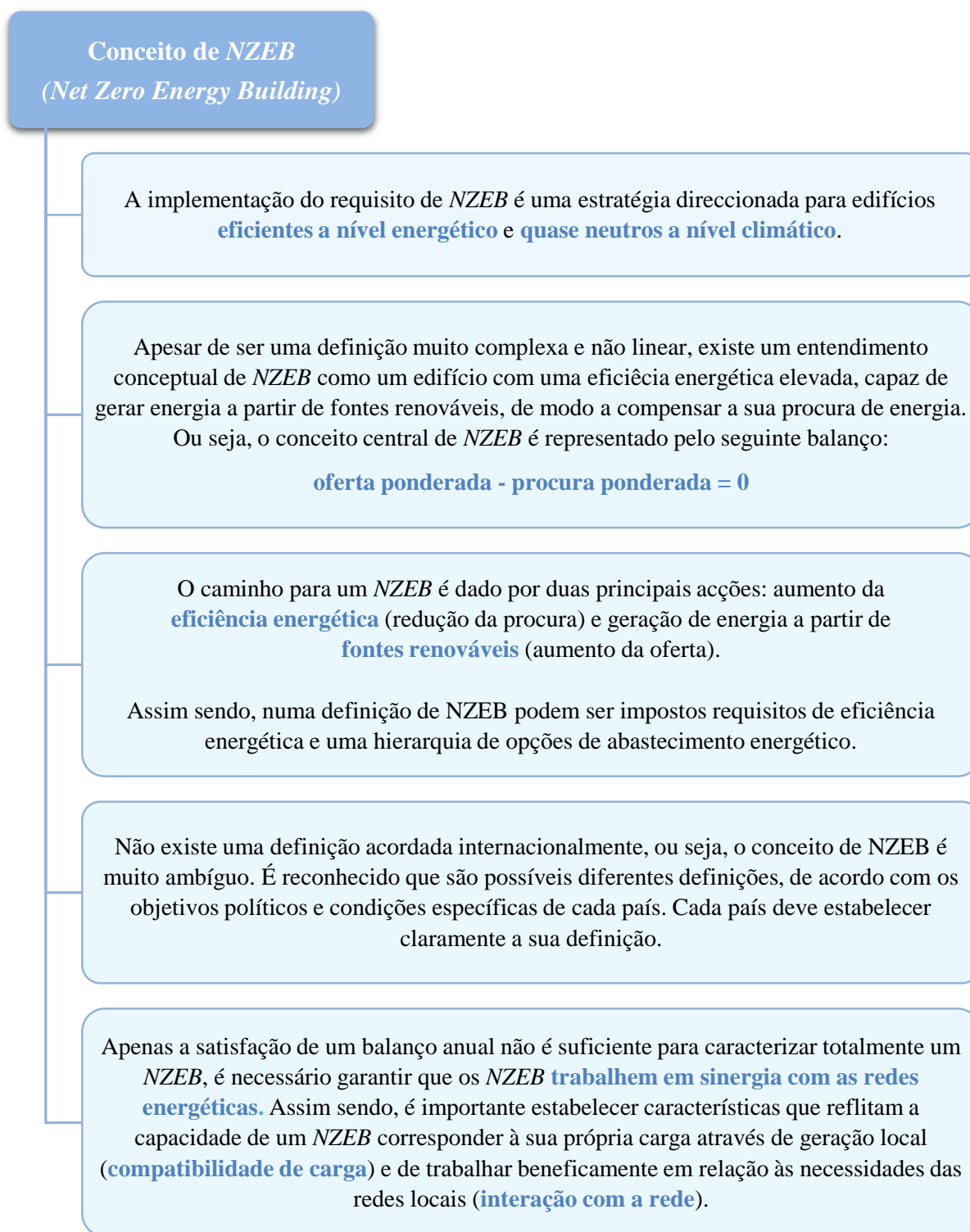


Figura 3 - Esquematização dos principais conceitos relacionados com a definição de NZEB.

## 4. nZEB – “nearly Zero Energy Building”

### 4.1 Implementação do requisito de nZEB

Após a tentativa de implementação do conceito de NZEB, chegou-se à conclusão que muitos locais não reuniam condições suficientes para a construção de edifícios capazes de produzir a mesma quantidade de energia que lhes é fornecida, tanto a nível climático e/ou geográfico – pouca disponibilidade de fontes de energia renováveis no local – como a nível económico – condições económicas frágeis, que impossibilitam o investimento neste tipo de projetos. De facto, segundo o relatório da REHVA de 2013, os NZEB não são ainda financeiramente viáveis, o que levou à preparação de uma nova definição: edifícios com necessidades quase nulas de energia. Por uma questão de fluência de texto, neste documento utilizar-se-á a sigla inglesa nZEB (*nearly zero energy buildings*). O nZEB passou a constituir o requisito para novas construções a partir do início de 2021, ou de 2019 no caso de edifícios novos de entidades públicas, bem como a referência para as grandes intervenções no edificado existente (DL 118/2013, Reformulação do EPBD, 2010).

#### Reformulação da EPBD, 2010 (Artigo 9º, Edifícios com necessidades quase nulas de energia):

1. Os Estados-Membros asseguram que:
  - a) O mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia; e
  - b) Após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia.

### 4.2 Definição de nZEB

O relatório da REHVA (2013) e a reformulação do EPBD (2010) apresentam as seguintes definições de nZEB:

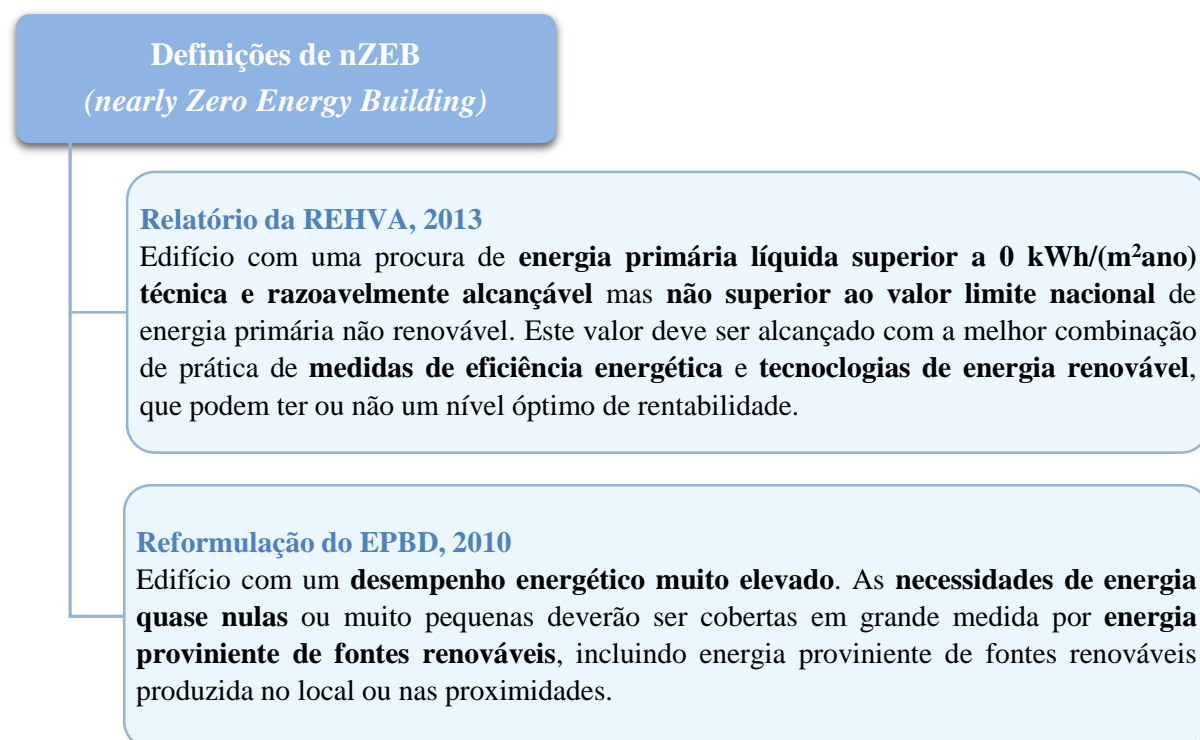


Figura 4 - Definições de «edifícios com necessidades quase nulas de energia» (Relatório da REHVA, 2013; Reformulação do EPBD, 2010)

Se o conceito de NZEB já era ambíguo e pouco claro em termos científicos, este novo conceito de nZEB é ainda mais. Além de todos os problemas de imprecisão associados ao conceito de NZEB já descritos, adiciona-se ainda a imprecisão de expressões como “desempenho energético *muito elevado*”, “necessidades *muito pequenas*” e “cobertas *em grande medida*”. A Comissão não fornece quaisquer requisitos harmonizados mínimos ou máximos nem detalhes do quadro geral de cálculo do desempenho energético, pelo que ficará a cargo de cada Estado-Membro definir o que para eles significa cada uma destas expressões e definir os seus próprios limites, com base nas suas condições. O objetivo desta nova definição é permitir ter em conta as condições de cada Estado-Membro e, simultaneamente, a utilização de uma metodologia uniforme em todos os Estados-Membros (relatório da REHVA, 2013).

De facto, o artigo 9º da reformulação do EPBD (2010) afirma o seguinte:

**Reformulação do EPBD, 2010 (Artigo 9º, Edifícios com necessidades quase nulas de energia):**

3. “Os planos nacionais devem incluir, nomeadamente, os seguintes elementos:

- a) Uma descrição pormenorizada da forma como a **definição de edifícios com necessidades quase nulas de energia é aplicada na prática** pelo Estado-Membro, que reflita as condições nacionais, regionais ou locais dos edifícios, e que inclua um **indicador numérico da utilização da energia primária** expressa em kWh/m² por ano (...).
- b) **Objetivos intermédios** para melhorar o desempenho energético dos edifícios novos, até 2015.
- c) Informações sobre as **políticas e medidas financeiras** ou de outro tipo de tomadas (...) para fomentar a criação de edifícios com necessidades quase nulas de energia, incluindo uma descrição pormenorizada dos requisitos e medidas nacionais respeitantes à **utilização de energia proveniente de fontes renováveis** nos edifícios novos e nos edifícios sujeitos a grandes renovações (...).

O BPIE fornece um diagrama bastante útil para compreender os princípios dos nZEB. Uma adaptação de tal diagrama é apresentada na Figura 5.



Figura 5 - Princípios base do conceito de nZEB (adaptado de diagrama apresentado pelo BPIE).

Cada Estado-Membro deve portanto estabelecer a sua própria definição de nZEB definindo, pelo menos, um valor limite para o indicador numérico de utilização de energia primária. Uma definição de nZEB pode adicionar em paralelo outros indicadores de desempenho energético, sendo, no entanto, sempre obrigatório estabelecer o indicador de energia primária (ver outros indicadores de desempenho energético na secção 5.2.2. Avaliação do desempenho energético de edifícios: cálculo de indicadores numéricos relevantes). De facto, muitas entidades na área da energia apoiam a utilização de outros indicadores para além do indicador de energia primária: o BPIE aconselha o estabelecimento de requisitos para outros indicadores (ver Figura 5) e a *Ecofys* também afirma que não parece ser apropriado tomar a energia primária como a única base para criar referências para nZEB. Aquando o estabelecimento dos valores de referência para os indicadores de desempenho energético, o Estado-Membro deve considerar os seguintes fatores (REHVA, 2013):

- Nível de consumo de energia primária técnica e razoavelmente alcançável, sendo que «razoavelmente alcançável» significa em comparação com os valores de referência nacionais para cada tipo de edifício. É de notar que para efeitos de cálculo de desempenho energético, os edifícios devem ser devidamente classificados tendo em conta a sua funcionalidade. No Anexo I da Reformulação do EPBD (2010) é apresentada uma lista de categorias de edifícios, a qual pode ser

<sup>2</sup> Embora não seja referido explicitamente na definição oficial de nZEB apresentada na reformulação do EPBD, um dos principais objetivos da implementação dos nZEB é a redução da emissão de gases com efeito de estufa. Assim sendo, é importante caminhar para a convergência dos dois conceitos (nZEB e *zero carbon buildings*). De facto, alguns Estados-Membros estabeleceram o indicador de emissões de CO<sub>2</sub> como o principal indicador de desempenho energético na sua definição nacional de nZEB (ver Anexo I).



consultada no presente documento, na secção 5.1.3.a). Os valores de referência devem ser especificados para cada categoria de edifício, pelo menos para aqueles que se encontram na lista referida.

- Percentagem de energia primária coberta por fontes de energia renovável.
- Incentivos financeiros disponíveis para utilização de energias renováveis ou medidas de eficiência energética.
- Implicações em termos de custos e nível de ambição da definição.

Segundo a reformulação do EPBD (2010), os Estados-Membros devem definir edifícios de referência caracterizados e representativos pela sua funcionalidade e localização geográfica, atendendo inclusive às condições climáticas interiores e exteriores. Os indicadores de desempenho energético dos edifícios de referência devem ser calculados com base num quadro de metodologia definido de forma clara, o qual deve incluir (REHVA, 2013):

- Definição das fronteiras do sistema a considerar (ver secção 5.1).
- Conjunto de dados climáticos de referência numa base anual (os quais são utilizados para determinar a procura e a geração de energia dos edifícios de referência).
- Conjunto de dados de referência relativamente aos padrões de conforto e sistemas técnicos utilizados no edifício de forma a avaliar as necessidades de energia final dos edifícios de referência.

É de notar que este conjunto de dados de referência é utilizado para determinar o desempenho energético na fase de projeto. Durante a fase de operação, diferentes edifícios podem ser utilizados de forma muito diferente dentro da mesma categoria, pelo que não é adequada a utilização dos dados de referência. Aquando a avaliação do desempenho energético de um edifício específico durante a sua fase de operação, devem ser utilizados dados reais, obtidos através de medições no próprio edifício. Ou seja, os projetistas dos edifícios apenas devem garantir que, utilizando como dados de entrada os dados-padrão estabelecidos para o tipo de edifício em causa, o edifício consiga alcançar um nível de desempenho energético suficiente para ser considerado um nZEB. No entanto, a utilização que é dada ao edifício não depende dos projetistas mas dos utilizadores. Assim sendo, na fase de operação o edifício deve ser avaliado e devem ser feitas medições da produção e consumo reais e devem ser esses os dados a utilizar aquando a avaliação do desempenho energético do edifício.

### **4.3 Evolução das definições de nZEB aplicadas nos Estados-Membros**

Tal como já foi referido na secção anterior, o nZEB é apresentado na Reformulação da Diretiva EPBD como um requisito político bastante flexível e sem uma definição harmonizada. Algumas expressões utilizadas pela Diretiva são intencionalmente vagas, de modo a que cada Estado-Membro dê o rigor à sua própria definição com base nas suas condições.

A Diretiva estabelece que os Estados-Membros elaborem planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades nulas de energia, os quais devem incluir, tal como já foi referido anteriormente:

- 1) Um indicador numérico de energia primária [kWh/(m<sup>2</sup>ano)];
- 2) Objetivos intermédios para 2015;

- 3) Medidas políticas, financeiras e de outros tipos para apoiar a implementação de nZEB, incluindo medidas nacionais e requisitos a respeito da utilização de fontes de energia renováveis.

A Comissão deve avaliar os planos nacionais e até 31 de Dezembro de 2012 e, em seguida de 3 em 3 anos, publicar um relatório sobre os progressos alcançados pelos Estados-Membros (Reformulação do EPBD, Artigo 16.º).

O primeiro relatório foi publicado apenas em Junho de 2013 (retificado em Outubro de 2013), o qual incluiu apenas os 8 Estados-Membros que submeteram os seus planos nacionais até ao final de 2012 (ecee, 2014). Nessa altura, apenas 4 Estados-Membros forneceram uma definição de nZEB completa, incluindo um indicador de energia primária e uma meta para a quota-parte de energia proveniente de fontes renováveis (Bélgica, Chipre, Dinamarca e Lituânia). A conclusão final do relatório foi que muito pouco progresso havia sido realizado por parte dos Estados-Membros e que tal falta de preparação aumentaria o risco dos Estados-Membros não alcançarem as metas estabelecidas para 2021 (2019, no caso do sector público). Muitos Estados-Membros receberam notas de infração por parte da Comissão por não cumprir as obrigações estabelecidas pela Diretiva EPBD.

Uma versão de trabalho do relatório de progresso de 2014, publicada pela *Ecofys*, veio atualizar a informação apresentada no relatório de 2013, com base na informação contida nos planos nacionais submetidos pelos Estados-Membros após 2012. Comparando os dados de ambos os relatórios, conclui-se que houve um progresso bastante significativo, visto que até à data de publicação do relatório da *Ecofys* de 2014, todos os Estados-Membros exceto a Espanha e a Grécia haviam submetido o seu plano nacional.

#### 4.3.1 Aplicação na prática da definição de nZEB

O gráfico da Figura 6 foi construído com base nos dados disponibilizados pela *Ecofys* (2014) e pelo BPIE (2015) e mostra o estado de desenvolvimento da definição de nZEB nos Estados-Membros (a informação contida no relatório de 2013 da Comissão é apresentada no gráfico a tracejado). É de notar que a Bélgica apresentou definições diferentes para 3 regiões (Bruxelas, Flanders e Wallonia), pelo que cada uma das regiões foi contabilizada como 1/3 de Estado-Membro. A análise do gráfico mostra que mais de metade dos Estados-Membros já implementaram a sua definição de nZEB (o estado “Definição aprovada” é atribuído aos Estados-Membros que apresentem a sua definição num documento oficial, incluindo um indicador de utilização de energia primária, tal como exigido pela Diretiva). Relativamente às definições que se encontram em outros estados de desenvolvimento (à espera de aprovação ou em desenvolvimento), é indicado no gráfico do lado esquerdo se tais definições incluem um indicador de energia primária ou não.

##### Indicador de Energia Primária

Relativamente aos Estados-Membros que já incluem um indicador de utilização de energia primária na sua definição, tal indicador é, na maioria dos casos, expresso em kWh/(m²ano). A maioria dos Estados-Membros tem em contas as utilizações de energia exigidas pela Diretiva EPBD: aquecimento, arrefecimento, produção de águas quentes sanitárias (AQS) e ventilação e, no caso dos edifícios não-residenciais, iluminação. A Áustria, a Estónia e a Finlândia incluem adicionalmente a energia consumida por dispositivos utilizados no edifício. Apenas dois Estados-Membros (Eslováquia e Luxemburgo) não cumprem a Diretiva neste aspeto, não incluindo as necessidades de energia para arrefecimento em edifícios residenciais.

Os limites estabelecidos para o indicador de energia primária pelos Estados-Membros variam entre 20 e 270 kWh/(m<sup>2</sup>ano) (para a Dinamarca e Estónia, respetivamente). A maioria dos Estados-Membros estabelece diferentes limites conforme a funcionalidade do edifício e alguns Estados-Membros consideram também a sua localização. Os valores mais reduzidos correspondem normalmente a edifícios residenciais unifamiliares e os valores mais elevados a edifícios no sector da saúde (hospitais).

Alguns Estados-Membros (BE- Flanders, DE, CZ) optaram por definir o indicador de energia primária como uma percentagem relativamente ao consumo de energia primária calculado para um edifício de referência representativo da sua funcionalidade e localização geográfica. Outros (BG, NL, LT, LU) estabeleceram coeficientes adimensionais como indicadores de energia primária: Por exemplo, na Bulgária, Lituânia e Luxemburgo, os edifícios têm que pertencer a determinada classe energética para serem classificados como nZEB; na Holanda, o edifício tem que atingir um coeficiente de desempenho energético igual a zero (informação mais detalhada na secção 4.4).

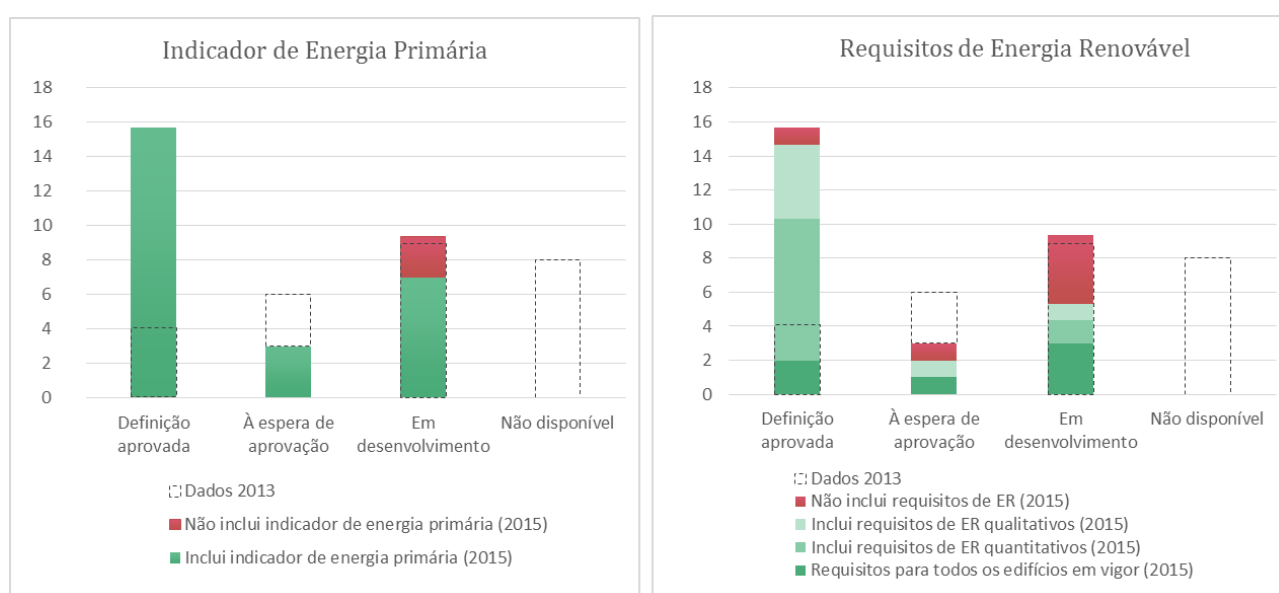


Figura 6 - Estado de desenvolvimento das definições de nZEB aplicadas a edifícios novos pelos Estados-Membros (adaptado de *Ecofys*, 2014; atualizado com base nos dados do BPIE, 2015).

### Requisitos de utilização de energia renovável

Relativamente a requisitos de utilização de energia proveniente de fontes renováveis, alguns Estados-Membros (BE-Flanders, BE-Wallonia, CY, SK, FR, HU, IE, IT, LV, LT, RO, CZ) estabelecem requisitos quantitativos (por exemplo, para que um edifício seja classificado de nZEB, pelo menos 25% da utilização de energia primária tem que ser de origem renovável), enquanto outros fazem apenas declarações qualitativas. Alguns Estados-Membros não estabeleceram requisitos mínimos de energia renovável explicitamente para nZEB, uma vez que os seus Regulamentos atuais já estabelecem uma quota-mínima de energia renovável para todos os edifícios. Outros, não estabeleceram quaisquer requisitos (informação mais detalhada na secção 4.4).

### Objetivos mais ambiciosos

É de salientar que alguns Estados Membros estabeleceram metas mais ambiciosas que as definidas pela Diretiva: a Holanda, que estabeleceu o requisito de NZEB (*Net Zero Energy Buildings*) para todos os novos edifícios, o que corresponde a um coeficiente de desempenho energético igual a zero; a França, onde o requisito de BBC (*Bâtiments Basse Consommation*) se encontra atualmente em vigor,

estabeleceu que a partir de 2021, todos os edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção cumprirão o requisito de “*Positive Energy Buildings*”; o Reino Unido, que desenvolveu o conceito de “*Zero Carbon Homes*”, edifícios com níveis bastante reduzidos de emissões de dióxido de carbono e outros GEE.

### Definição de nZEB para edifícios existentes sujeitos a grande intervenção

Em relação à definição de nZEB aplicada a edifícios existentes sujeitos a grande intervenção, a visão global relativamente ao estado de desenvolvimento da definição é muito mais negativa. Muitos Estados-Membros que já implementaram os requisitos para novos edifícios, não o fizeram para edifícios existentes. O gráfico da Figura 7 mostra o desenvolvimento da definição nos Estados-Membros.

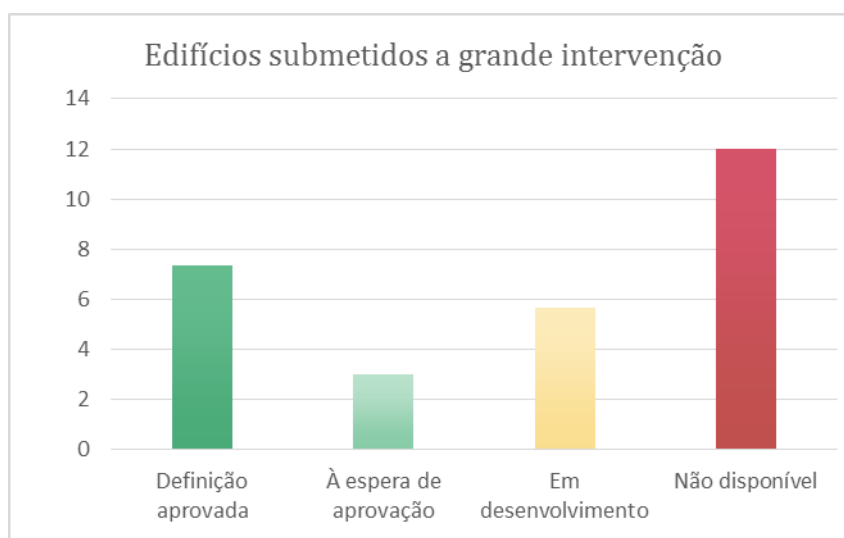


Figura 7 - Estado de desenvolvimento das definições de nZEB aplicadas a edifícios existentes submetidos a grande intervenção pelos Estados-Membros (adaptado de *Ecofys*, 2014; atualizado com base nos dados do BPIE, 2015).

Entre as definições aprovadas, alguns Estados-Membros estabeleceram os mesmos requisitos para edifícios novos e edifícios submetidos a grande intervenção (CY, DK, LT, LV, CZ), enquanto outros, optaram por estabelecer requisitos menos exigentes para os edifícios existentes (AT, BE-Bruxelas, FR) (informação mais detalhada na secção 4.4).

### 4.3.2 Objetivos intermédios para 2015

A Diretiva EPBD exigiu que os planos nacionais submetidos pelos Estados-Membros incluíssem metas intermédias para o ano de 2015. A maioria dos EM estabeleceram tais metas como requisitos mínimos de desempenho energético para novos edifícios construídos a partir de 2016 (relativamente à utilização de energia primária ou à classe energética).

Alguns países estabeleceram metas relativamente ao número de nZEB a construir até ao final de 2015: por exemplo, a Holanda estabeleceu que serão construídos 60 000 nZEB em 2015. Malta estabeleceu que pelo menos 5% dos novos edifícios pertencentes a autoridades públicas cumprirão o requisito de nZEB.

Vários Estados-Membros enfatizaram o papel exemplar do sector público, estabelecendo metas intermédias específicas para edifícios públicos.

O gráfico da Figura 8 revela os principais tipos de metas intermédias estabelecidas pelos Estados Membros:

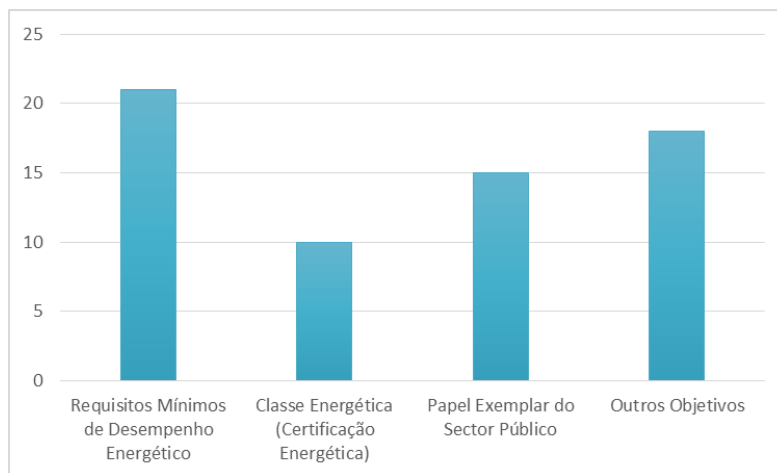


Figura 8 - Principais tipos de metas intermédias estabelecidos pelos Estados-Membros para 2015 (adaptado de *Ecofys*, 2014).

#### 4.3.3 Políticas e medidas de promoção para a implementação de nZEB

A terceira exigência da Diretiva relativamente aos planos nacionais é a inclusão de medidas políticas, financeiras e de outros tipos para apoiar a implementação de nZEB, incluindo medidas nacionais. O gráfico da Figura 9 mostra as principais políticas e medidas estabelecidas pelos Estados-Membros. É de notar a evolução relativamente à aplicação de medidas e políticas (medidas e políticas aplicadas em 2013 apresentadas a tracejado no gráfico).

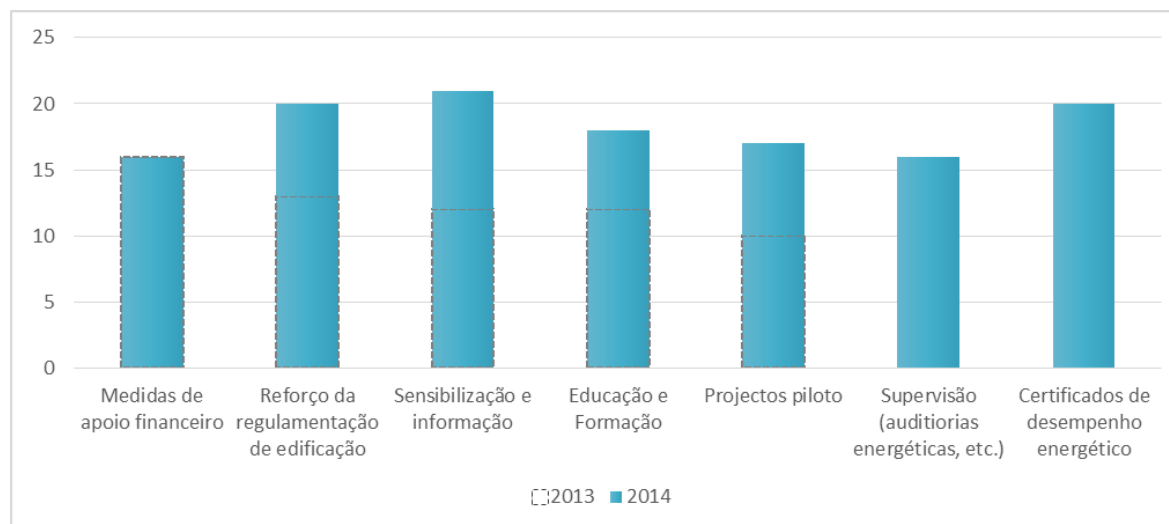


Figura 9 - Principais políticas e medidas implementadas pelos Estados Membros (adaptado de *Ecofys*, 2014).

#### 4.4 Definição de nZEB em diferentes Estados-Membros

Seguidamente, é apresentado um quadro-resumo com os principais dos aspetos relacionados com as definições de nZEB nos diferentes Estados-Membros. No Anexo I são apresentadas as definições de ZEB para cada um dos Estados-Membros.

##### Legenda da Tabela x:

✓ Definição incluída num documento oficial

✗ Definição não disponível

**N.D.** Não foram encontrados dados

##### Outros indicadores:

**CO<sub>2</sub>:** Emissões de dióxido de carbono (e outros GEE)

**QTE:** Qualidade Térmica da Envolvente

**N<sub>i</sub>:** Necessidades de energia para aquecimento (inverno)

**N<sub>v</sub>:** Necessidades de energia para arrefecimento (verão)

**ST:** Desempenho dos sistemas técnicos

**SA:** Indicador de sobreaquecimento

##### Notas:

[1] O desempenho energético é determinado com base na energia necessária para satisfazer as necessidades de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, ventilação e, no caso de edifícios não-residenciais, iluminação (Reformulação do EPBD, 2010)

[2] Dependendo do edifício de referência

[3] Dependendo da localização

[4] O requisito depende da fonte de energia renovável ou do sistema de energia renovável utilizado.

[5] O consumo de energia primária máximo é definido como uma percentagem do consumo de energia primária do edifício de referência correspondente ( $EP_{ref}$ )

[6] Não são consideradas as necessidades de energia para arrefecimento no caso de edifícios residenciais.

[7] A energia utilizada por dispositivos (eletrodomésticos, transportes domésticos, tomadas, etc.) também é considerada (além das utilizações referidas em [1]).

Tabela 1 – Quadro-Resumo dos principais aspetos relacionados com a definição de nZEB nos diferentes Estados-Membros (adaptado do BPIE, 2015).

Estado-Membro	Edifícios novos							Edifícios sujeitos a grande intervenção		
	Estado da definição	Utilizações de energia [1]	Indicador numérico	Máximo de energia primária [kWh/(m <sup>2</sup> ano)]		Quota-parte de renováveis	Outros indicadores	Estado da definição	Máximo para a energia primária [kWh/(m <sup>2</sup> ano)]	
				Residenciais	Não residenciais				Residenciais	Não residenciais
Alemanha (DE)	Em desenvolvimento	✓	Em desenvolvimento	40% PE [5] <i>KfW Efficiency House 40</i>		Quota mínima para todos os edifícios nos requisitos atuais.	QTE	Em desenvolvimento	55% PE [5] <i>KfW Efficiency House 55</i>	
Áustria (AT)	✓	✓ [7]	✓	160	170	Proposta de quota-parte mínima para todos os edifícios	CO <sub>2</sub> , QTE, N <sub>i</sub>	✓	200	250
Bélgica (BE) Bruxelas	✓	✓	✓	45	~90 [2]	✓ Qualitativo	QTE, SA	✓	54	~108 [2]
Bélgica (BE) Flanders	✓	✓	✓	30% EP <sub>ref</sub> [5]	40% EP <sub>ref</sub> [5]	✓ Quantitativo [4]	QTE, SA	Em desenvolvimento		
Bélgica (BE) Wallonia	Em desenvolvimento	✓	Em desenvolvimento			Quantitativo	QTE	Em desenvolvimento		
Bulgária (BG)	À espera de aprovação	✓	À espera de aprovação	~30-50 Incluído no método de cálculo; O edifício tem que cumprir os requisitos da classe A.	~40-60	Quota mínima para todos os edifícios nos requisitos atuais.	QTE	À espera de aprovação	~30-50	~40-60
Chipre (CY)	✓	✓	✓	100	125	✓ Quantitativo	QTE	✓	100	125
Croácia (HR)	✓	✓	✓	33-41 [3]	Em desenvolvimento	Quota mínima para todos os edifícios nos requisitos atuais.	QTE, N <sub>i</sub>	N.D.		
Dinamarca (DK)	✓	✓	✓	20	25	✓ Qualitativo	QTE, SA, ST	✓	20	25
Eslováquia (SK)	✓	✗ [6]	✓	32-54 [2]	34-96 [2]	✓ Quantitativo	QTE, N <sub>i</sub>	N.D.		
Eslovénia (SI)	À espera de aprovação	✓	À espera de aprovação	45-50 [2]	70	Em desenvolvimento	QTE	À espera de aprovação	70-90 [2]	100

Estado-Membro	Edifícios novos							Edifícios sujeitos a grande intervenção		
	Estado da definição	Utilizações de energia [1]	Indicador numérico	Máximo de energia primária [kWh/(m²ano)]		Quota-parte de renováveis	Outros indicadores	Estado da definição	Máximo de energia primária [kWh/(m²ano)]	
				Residenciais	Não residenciais				Residenciais	Não residenciais
Espanha (ES)	Em desenvolvimento	✓	Em desenvolvimento	Incluído no método de cálculo; Está previsto que o edifício tenha que cumprir os requisitos da classe A.		Quota mínima para todos os edifícios nos requisitos atuais.	CO <sub>2</sub> (indicador principal)	Em desenvolvimento		
Estónia (EE)	✓	✓ [7]	✓	50-100 [2]	90-270 [2]	✓ Qualitativo		✗		
Finlândia (FI)	Em desenvolvimento	✓ [7]	N.D.			N.D.		N.D.		
França (FR)	✓ Definição de “Positive Energy Buildings” em desenvolvimento	✓	✓	40-65 [2,3]	70-110 [2,3]	✓ Quantitativo [4]	QTE, SA, ST	✓	80 [3]	60% EP <sub>ref</sub> [2]
Grécia (EL)	Em desenvolvimento	N.D.	N.D.			Quota mínima para todos os edifícios nos requisitos atuais.		Em desenvolvimento		
Holanda (NL)	✓	✓	✓	Incluído no método de cálculo; O edifício tem atingir um coeficiente de desempenho energético igual a 0.		✗	QTE	N.D.		
Hungria (HU)	Em desenvolvimento	✓	Em desenvolvimento	50-72 [2]	60-115 [2]	✓ Quantitativo	QTE	Em desenvolvimento		
Irlanda (IE)	✓	✓	✓	45	~60% EP <sub>ref</sub> [5]	✓ Quantitativo [4]	CO <sub>2</sub>	Em desenvolvimento	75-150	
Itália (IT)	À espera de aprovação	✓	À espera de aprovação			Quantitativo	QTE, ST	À espera de aprovação		
Letónia (LV)	✓	✓	✓	95	95	✓ Quantitativo	QTE, N <sub>i</sub>	✓	95	95



Estado-Membro	Edifícios novos							Edifícios sujeitos a grande intervenção		
	Estado da definição	Utilizações de energia [1]	Indicador numérico	Máximo de energia primária [kWh/(m²ano)]		Quota-parte de renováveis	Outros indicadores	Estado da definição	Máximo de energia primária [kWh/(m²ano)]	
				Residenciais	Não residenciais				Residenciais	Não residenciais
Lituânia (LT)	✓	✓	✓	Incluído no método de cálculo; O edifício tem que cumprir os requisitos da classe A <sup>++</sup> .		✓ Quantitativo	QTE	✓	Incluído no método de cálculo; O edifício tem que cumprir os requisitos da classe A <sup>++</sup> .	
Luxemburgo (LU)	✓ (falta definir alguns detalhes)	✗ [6]	✓	Incluído no método de cálculo; O edifício tem que cumprir os requisitos da classe A-A.		✓ Qualitativo	QTE, CO <sub>2</sub> , N <sub>i</sub>	N.D.		
Malta (MT)	Em desenvolvimento	✓	Em processo de revisão	40	60	Qualitativo	QTE	N.D.		
Polónia (PL)	Em desenvolvimento	✓	Em desenvolvimento	60-75 [2]	40-190 [2]	✗		N.D.		
Portugal (PT)	Em desenvolvimento	✓	Nos requisitos atuais para todos os edifícios.			✗	QTE, N <sub>i</sub> , N <sub>v</sub> , ST	N.D.		
Reino Unido (UK)	✓ (falta definir alguns detalhes)	✓	✓	~44 [2]	ND	✓ Qualitativo	CO <sub>2</sub> (Indicador principal), QTE, ST	N.D.		
República Checa (CZ)	✓	✓	✓	75%-80% [2,5]	90% [5]	✓ Quantitativo	QTE, ST	✓	75%-80% [2,5]	90% [5]
Roménia (RO)	✓	✓	✓	93-217 [2,3]	50-192 [2,3]	✓ Quantitativo	CO <sub>2</sub>	N.D.		
Suécia (SE)	Em desenvolvimento	✓	Em desenvolvimento	30-75 [2,3]	30-105 [2,3]	✗		N.D.		

## 5. Quadro geral comum para uma metodologia de cálculo de desempenho energético

Tal como já foi referido anteriormente, a definição de *NZEB* foi apresentada de forma pouco objectiva propositadamente, de forma a permitir que cada Estado Membro adapte a definição às suas próprias condições específicas. Para a aplicação na prática do balanço da expressão (1), o qual representa o conceito central de definição de *NZEB*, têm que ser avaliados vários aspetos. Em *Sartori et al.* (2012) é apresentado um quadro geral que consiste na descrição e análise dos principais aspetos que devem ser considerados na caracterização de um *NZEB*, numa série de cinco critérios e respetivos sub-critérios, estando disponíveis diferentes opções para cada um dos critérios. Este quadro geral funciona como uma metodologia para estabelecer definições de *NZEB* de uma forma sistemática, abrangente e consistente (*Sartori et al.*, 2012): cada Estado Membro deve avaliar cada critério, seleccionar as opções que melhor correspondem à sua situação particular e apresentá-las de forma explícita. Assim, é possível estabelecer uma abordagem comum, sem deixar de respeitar os princípios de subsidiariedade e proporcionalidade (*Buildings Platform*, 2008).

Seguidamente é apresentado um quadro geral adaptado de *Sartori et al.*, 2012. A informação disponível no artigo de *Sartori et al.* (2012) foi complementada com informação recolhida de variada literatura relacionada com o tema.

É também apresentado um esquema com as fronteiras e os fluxos energéticos relevantes para a avaliação do desempenho energético (Figura 12) e é explicado detalhadamente em que consiste cada um desses fluxos.

### 5.1 Fronteira do sistema

«Quais os fluxos energéticos que devem ser considerados no balanço energético?», «Quais é que podem ser considerados como fluxos de energia produzida localmente?» Estas são questões pertinentes para as quais, tal como já foi referido anteriormente, não existe uma resposta nas normas europeias. Assim sendo, o primeiro aspeto a definir na construção de um método para avaliar o desempenho energético de um edifício é a fronteira do sistema. A fronteira do sistema é uma combinação de uma fronteira de balanço, a qual define as utilizações de energia que devem ser consideradas no balanço, e de uma fronteira física, a qual estabelece quais são os sistemas de geração local.

Informação detalhada relativa a cada uma destas fronteiras é apresentada nos capítulos 5.1.1 a 5.1.3, informação esta que é sintetizada no esquema da Figura 10.

#### 5.1.1 Fronteira de balanço

A fronteira de balanço define quais as utilizações de energia que devem ser consideradas na avaliação do desempenho energético de um edifício. Normalmente, é recomendável que toda a energia utilizada nos edifícios seja contabilizada (*REHVA*, 2013). No entanto, a Reformulação do EPBD (2010), obriga apenas a incluir a energia utilizada para o **aquecimento**, o **arrefecimento**, a **ventilação**, a **preparação de água quente** e, no caso de edifícios não residenciais, **iluminação**. Outras utilizações de energia, como a energia utilizada por dispositivos, tais como eletrodomésticos, tomadas, transportes domésticos (elevadores, escadas rolantes, etc.) não são obrigatoriamente incluídas no balanço. A não obrigatoriedade da inclusão desta utilização de energia deve-se ao facto de não ser uma utilização de energia diretamente relacionada com o edifício mas com os seus utilizadores. Os fluxos de energia associados aos utilizadores dos edifícios são muito difíceis de estimar na fase de projeto, uma vez que

dependem dos perfis de consumo de cada utilizador e por essa razão são muito variáveis. Assim sendo, a inclusão ou exclusão dos dispositivos na fronteira de balanço é uma decisão a ser tomada por cada Estado-Membro (*REHVA*, 2013).

No entanto, a exclusão de determinados fluxos energéticos pode representar um problema na fase de monitorização: por exemplo, caso se opte por excluir os dispositivos da fronteira de balanço, a energia elétrica utilizada pelos dispositivos não será contabilizada no indicador de desempenho energético do edifício, pelo que será necessário determinar a fração de consumo energético que é realmente utilizada pelos dispositivos. Para a determinação do indicador de desempenho energético na fase de projeto, tal não representa qualquer problema; no entanto, a exclusão de determinado fluxo energético pode complicar o cálculo do indicador de desempenho energético na fase de monitorização, uma vez que nominalmente os contadores energéticos não diferenciam as utilizações de energia, ou seja, um contador normal apresentará apenas o valor total de energia utilizada, não discriminando que parte foi utilizada pelos dispositivos, tornando-se impossível determinar com exatidão a quantidade de energia que deve ser contabilizada no balanço. Uma definição de *NZEB* que não inclui todos os serviços energéticos operacionais coloca um desafio à verificação do desempenho energético do edifício, uma vez que requer um sistema de medição muito mais sofisticado (*Sartori et al*, 2012).

Pode também ser relevante considerar no balanço outras utilizações de energia que não ocorrem na fase operacional, como por exemplo a energia incorporada em materiais e sistemas técnicos do edifício. O fabrico das diversas tecnologias de conversão de energia renovável exige a utilização de uma quantidade significativa de energia não renovável, isto é, embora os sistemas de energia renovável instalados no edifício sejam capazes de converter energia primária proveniente de fontes de energia renovável em energia útil, é necessária uma determinada quantidade de energia de origem não-renovável para construí-los. Este investimento energético pode ser bastante significativo, especialmente em edifícios com uma eficiência energética elevada e com produção energética local, uma vez que estes edifícios utilizam uma maior quantidade de materiais (por exemplo, isolamento) e de sistemas técnicos (por exemplo, sistemas fotovoltaicos) cujo fabrico é de utilização intensiva de energia. Consequentemente, a importância da energia incorporada nos materiais e nos sistemas técnicos aumenta e torna-se importante incluí-la no balanço no âmbito dos NZEB como edifícios sustentáveis e “amigos do ambiente” (*Sartori et al*, 2012). A não contabilização desta energia conduz a uma «falsa» redução do consumo energético, uma vez que parte do consumo energético foi, na realidade, apenas deslocado da fase de monitorização para a fase de projeto.

### **5.1.2 Fronteira física**

A fronteira física é útil para estabelecer as áreas que devem ser consideradas e como devem ser tratadas no balanço energético. Segundo o relatório do *REHVA* (2013) existem três tipos de fronteira física: fronteira de utilização de energia, fronteira do lote de terreno (*building site*) e fronteira de “proximidade” (*nearby*). Nas secções seguintes é apresentada informação detalhada relativa a cada um destes tipos de fronteira física. O esquema da Figura 11 foi construído com o objetivo de clarificar a distinção entre estes tipos de fronteira.

#### **a) Fronteira de utilização de energia**

A fronteira de utilização de energia inclui todas as áreas associadas ao edifício, tanto no interior do edifício como no seu exterior, onde é utilizada ou produzida energia, excluindo os sistemas técnicos do edifício que convertem energia proveniente de fontes renováveis disponíveis no local. Estão incluídos na fronteira de utilização de energia todos os sistemas técnicos do edifício que utilizam vetores energéticos importados da infraestrutura energética ou vetores energéticos renováveis produzidos localmente (*on-site*).

### **b) Fronteira do lote de terreno (*building site*)**

A fronteira do lote de terreno é a extensão da fronteira do edifício que inclui os sistemas técnicos do edifício que convertem energia proveniente de fontes renováveis. São exemplos de sistemas de geração renovável os coletor solares, painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas ou hidroelétricas, etc. Esta fronteira é útil para identificar os sistemas de geração renovável locais: se um sistema estiver localizado no interior do espaço delimitado pela fronteira, é considerado um sistema de geração local; caso contrário, não é considerado um sistema de geração local (Sartori *et al.*, 2012).

Por exemplo, considerando o exemplo de um painel fotovoltaico instalado no telhado de uma habitação: caso se considere que a fronteira do lote de terreno é a envolvente do edifício, o painel fotovoltaico não será considerado um sistema local, uma vez que se encontra localizado exteriormente ao espaço delimitado pela fronteira; se a fronteira do lote de terreno for alargada e considerar-se toda a propriedade do edifício, o painel fotovoltaico será considerado um sistema local. Caso se considere que a fronteira é toda a propriedade do dono do edifício, qualquer instalação ou investimento em sistemas de energia renovável financiado pelo proprietário pode ser contabilizado no balanço, mesmo que não esteja numa área associada ao edifício. No entanto, neste caso, a energia produzida por um sistema de energia renovável localizado numa área associada ao edifício que seja propriedade de um terceiro partidário não poderá ser contabilizada no balanço (por exemplo, caso o espaço esteja arrendado a um investidor que possui um sistema fotovoltaico e que o gere independentemente) (Sartori *et al.*, 2012).

É importante diferenciar estas duas fronteiras físicas, uma vez que na fronteira de utilização de energia, tal como já foi referido anteriormente, só devem estar incluídos os sistemas técnicos do edifício que necessitam de energia importada das redes de energia ou de energia renovável produzida no local. Na fronteira do lote de terreno estão também incluídos os sistemas técnicos do edifício que convertem energia proveniente de fontes renováveis disponíveis no local, ou seja, sistemas que não exigem importação de energia da rede para funcionarem.

É importante notar que, tendo em conta estas definições, uma caldeira a biomassa, por exemplo, está incluída na fronteira de utilização de energia, uma vez que apesar de ser capaz de converter energia proveniente de uma fonte renovável exige importação de energia (de biomassa, neste caso). Assim sendo, qualquer sistema técnico do edifício que funcione a combustível, mesmo que seja de origem renovável, está incluído na fronteira de utilização de energia, uma vez que exige importação de energia.

### **c) Fronteira de “proximidade” (*nearby*)**

O relatório do REHVA (2013) introduziu ainda a fronteira de “proximidade” (designada de “*nearby boundary*” no relatório), que é uma extensão definida numa base nacional para incluir a produção de energia renovável nas proximidades que está contratualmente ligada ao edifício.

A ligação contractual de uma unidade de produção de energia ao edifício exige a disponibilidade de legislação nacional que permite ligar a nova capacidade de produção renovável ao edifício com um contrato a longo prazo, assegurando que o investimento nessa nova capacidade conduza a um acréscimo real no *mix* energético das redes de energia.

Um exemplo de uma unidade que pode ser tratada como unidade de produção descentralizada nas proximidades são as redes urbanas de aquecimento ou arrefecimento. Caso o proprietário do edifício faça um investimento a longo prazo, ligando contratualmente as redes ao seu edifício, os fluxos energéticos entre a unidade e o edifício poderão ser tratados da mesma forma que os fluxos energéticos *on-site*. Assim sendo, a energia térmica importada desta rede urbana poderá passar a ser ponderada com um fator diferente daquele definido a nível nacional, uma vez que as fontes de energia utilizadas para a

produção de energia térmica nas redes urbanas de aquecimento e arrefecimento reduzem o fator de energia primária não-renovável (ver capítulo 6).

É de notar que, caso as redes urbanas de aquecimento ou arrefecimento não estejam contratualmente ligadas ao edifício, é utilizado o fator de energia primária definido a nível nacional para a energia térmica, ou seja, o aquecimento e o arrefecimento urbano são tratados como fluxos de energia importada, independentemente da proximidade do local.

### Redes urbanas de aquecimento

As redes urbanas de aquecimento e arrefecimento permitem a distribuição de energia térmica sob a forma de vapor, de água quente ou de líquidos refrigerados a partir de uma fonte de produção central através de um sistema de transporte e distribuição para múltiplos edifícios ou locais, para o aquecimento ou arrefecimento de espaços ou processos industriais (Reformulação do EPBD, 2010). Aos edifícios ligados a estas redes, é fornecida energia térmica para climatização (aquecimento e arrefecimento ambiente) e aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS). Desta forma, os edifícios não necessitam de sistemas técnicos para tal, como aparelhos de ar condicionado, esquentadores ou cadeiras a gás (*Climaespaço*).

As redes urbanas representam 10% do mercado de aquecimento e arrefecimento na Europa, estando especialmente difundidas no Norte, Centro e Leste da Europa, onde chegam a ultrapassar os 50% do mercado (*Euroheat*). A principal vantagem deste tipo de sistemas é a sua contribuição para a redução de emissões de carbono, uma vez que, segundo os dados da *Euroheat*, mais de 80% da energia térmica fornecida pelas redes urbanas de aquecimento e arrefecimento é proveniente de fontes de energia renováveis ou de recuperação de calor. De facto, as redes urbanas europeias evitam, atualmente, a emissão de cerca de 113 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (*Edifícios e Energia*). Um estudo internacional cofinanciado pela Comissão Europeia confirmou a possibilidade de evitar cerca de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> anualmente, com a implementação de redes urbanas em 32 países europeus (*Euroheat; Edifícios e Energia*).

Apesar do seu sucesso no Norte, Centro e Leste da Europa, as redes urbanas de aquecimento e arrefecimento não estão ainda muito difundidas em Portugal. A maior desvantagem deste tipo de sistema são as perdas muito elevadas de energia através da tubagem no transporte da energia térmica. Uma vez que Portugal tem um clima ameno, o consumo de energia para aquecimento é muito inferior ao consumo em países no Norte da Europa. Segundo Rafael Ribas (presidente da Apisolar), “as redes urbanas atuais são dimensionadas para consumos de casas em climas muito mais frios (...). Será necessário fazer-se uma análise custo/benefício das redes urbanas a aplicar em Portugal, face às soluções locais de aquecimento (diminuto) e evitar que as perdas nas redes sejam da mesma ordem da energia requerida nos edifícios.” (*Edifícios e Energia*)

Atualmente existe uma zona do Parque das Nações (Lisboa, Portugal) que constitui uma área urbana dotada de tecnologias modernas, entre as quais uma rede de distribuição de frio e calor (*Climaespaço*). No entanto, tal como já foi referido, estes sistemas são ainda muito invulgares no país, pelo que não será considerada a fronteira de “proximidade” no caso de estudo do presente documento.

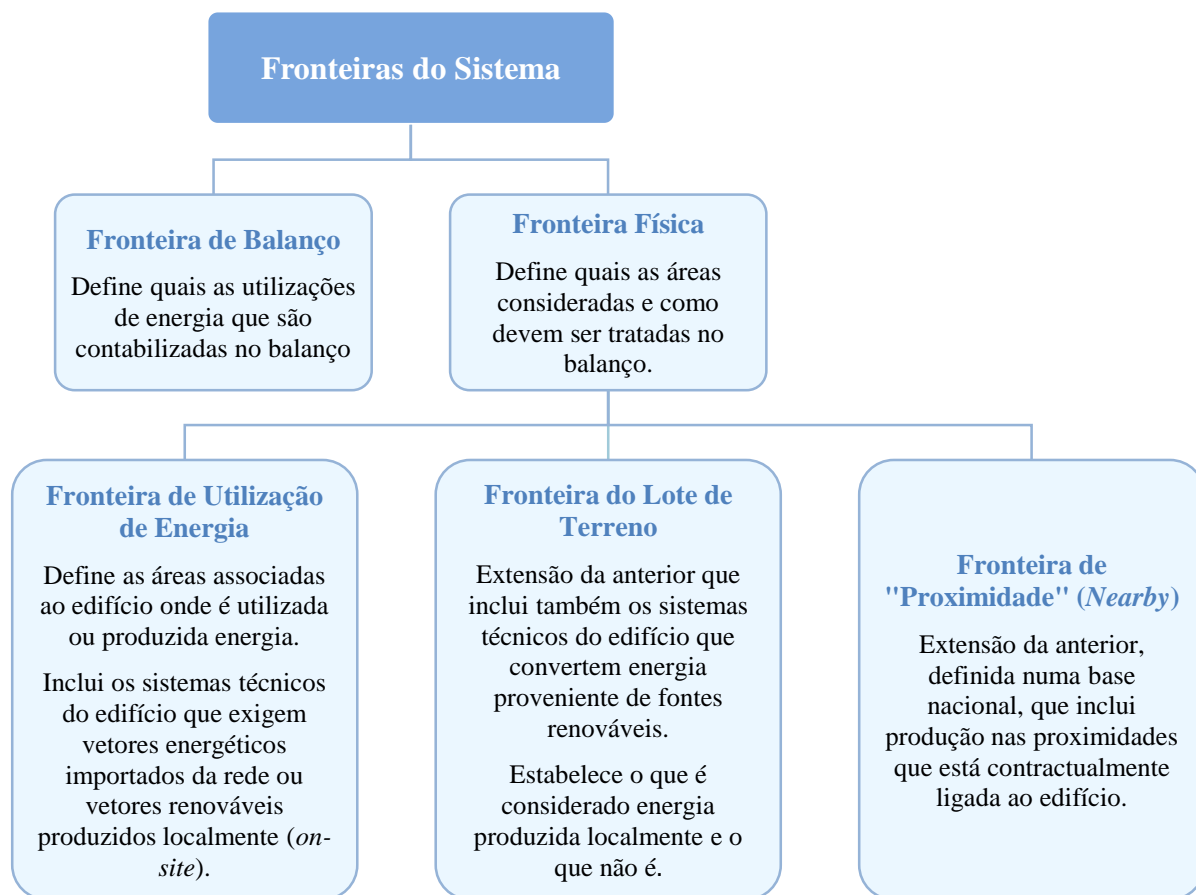


Figura 10 - Fronteiras do sistema a considerar para avaliação do desempenho energético de edifícios (adaptado de Sartori *et al.*, 2012 e relatório da REHVA, 2013).

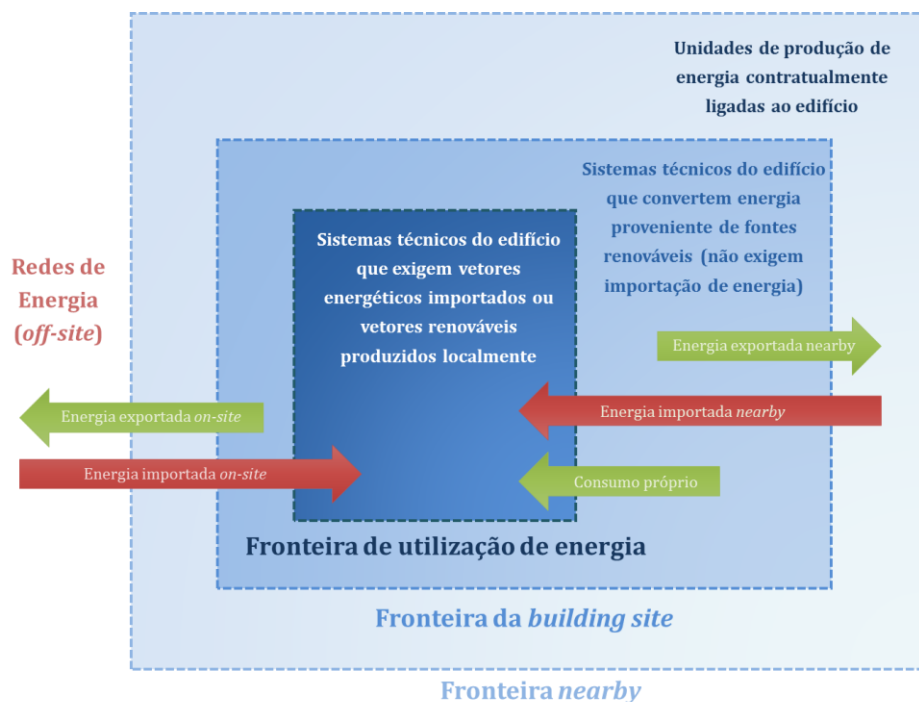


Figura 11 - Distinção entre os diferentes tipos de fronteira física: fronteira de utilização de energia, fronteira do lote de terreno e fronteira de "proximidade".

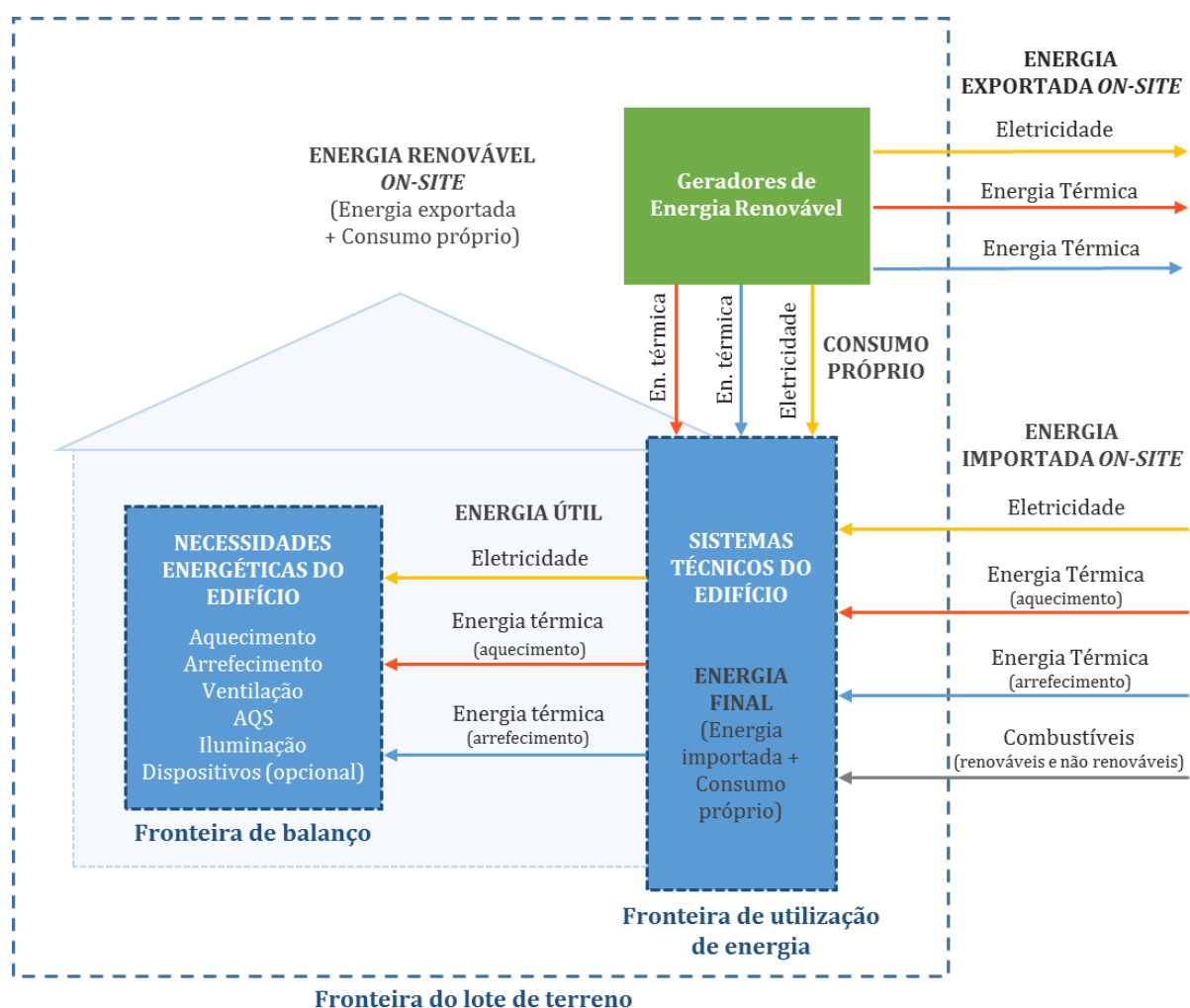


Figura 12 – Fronteiras do sistema e fluxos energéticos relevantes na avaliação do desempenho energético de um edifício. Não existe produção nas proximidades contratualmente ligada ao edifício. (adaptado do relatório da REHVA, 2013)

A Figura 12, adaptada do relatório da REHVA (2013), esquematiza os principais fluxos energéticos que atravessam as fronteiras relevantes na avaliação do desempenho energético de um edifício. Por uma questão de simplificação, neste exemplo não existe produção nas proximidades contratualmente ligada ao edifício, pelo que não existem fluxos de energia “nearby”. Em suma:

- A fronteira de balanço estabelece as necessidades energéticas do edifício que devem ser consideradas. A energia que atravessa a fronteira de balanço, ou seja, a energia na saída dos sistemas técnicos do edifício é denominada de «**energia útil**».
- A fronteira de utilização de energia inclui os sistemas técnicos do edifício que fornecem a energia necessária para cobrir as necessidades energéticas do edifício que estão incluídas na fronteira de balanço. É de notar que estes sistemas técnicos têm perdas de energia associadas (perdas de energia nos processos de emissão, distribuição, armazenamento, conversão, etc.). A quantidade de energia que é necessário fornecer a estes sistemas técnicos é, portanto, determinada tendo em conta o rendimento de todo este conjunto de processos e é coberta por vetores energéticos importados da rede e/ou energia renovável produzida localmente. O somatório dos fluxos energéticos na entrada dos sistemas técnicos do edifício é denominado de «**energia final**». É de notar que tal corresponde aos somatórios dos fluxos de energia importada e da parte de produção renovável que é utilizada para consumo próprio.

- Os vetores energéticos importados para o edifício são a eletricidade da rede elétrica (representada por setas amarelas na Figura 12), energia térmica das redes urbanas de aquecimento e/ou arrefecimento (representada por setas vermelhas e azuis, respetivamente) e combustíveis renováveis ou não-renováveis (representados por setas cinzentas).
- A fronteira do lote de terreno é, tal como já foi referido, a extensão da fronteira de utilização de energia que inclui também os geradores de energia renovável, representados pela caixa verde na figura. São exemplos de geradores de energia renovável os coletor solares, os painéis fotovoltaicos, as turbinas eólicas e hidroelétricas. A energia térmica e/ou elétrica na saída destes geradores é denominada de «**energia renovável on-site**». É de notar que a energia renovável *on-site* é portanto a energia produzida a partir do solar ativo, do vento, etc. (não a radiação solar incidente nos painéis ou a energia cinética à entrada das turbinas).

A energia térmica extraída a partir de fontes de calor do meio ambiente (ar, água, solo) por bombas de calor é também considerada energia renovável *on-site*. As bombas de calor são um caso particular, uma vez que são capazes de extrair energia térmica a partir de fontes de calor do meio ambiente, e desse ponto de vista podem ser tratadas como geradores de energia renovável; no entanto, para tal necessitam de energia elétrica (importada da rede ou produzida no local), e desse ponto de vista são considerados sistemas técnicos do edifício incluídos na fronteira de utilização de energia.

Os combustíveis renováveis, embora sejam considerados parte renovável da energia importada, não estão incluídos na energia renovável *on-site*: a energia proveniente de combustíveis renováveis é considerada energia renovável *off-site*.

É de notar que a energia solar passiva pertence à fronteira de balanço, não à fronteira de utilização de energia. De facto, as técnicas solares passivas consistem na projeção de edifícios de forma a aproveitar o melhor possível a energia solar reduzindo assim as necessidades de energia para climatização e iluminação, daí pertencerem à fronteira de balanço. Assim sendo, a energia solar passiva não é considerada energia renovável *on-site*.

A energia renovável *on-site* pode ser fornecida diretamente aos sistemas técnicos do edifício, reduzindo assim a quantidade de energia importada, ou pode ser exportada para as redes de energia (quando a oferta excede a procura).

### 5.1.3 Condições de Fronteira

Além das fronteiras do sistema, é também necessário definir as condições de fronteira para as quais o balanço foi calculado, de modo a que seja possível comparar o desempenho energético esperado para o edifício (determinado a partir dos seus dados de projeto) com o desempenho energético real na fase de monitorização. A definição das condições de fronteira é importante para compreender se qualquer discrepância que possa existir entre o valor obtido na fase de monitorização e o valor esperado é atribuível a operações técnicas ou erros de projeto, ou se é simplesmente devida a condições de utilização diferentes daquelas para as quais o edifício foi projetado (Sartori *et al.*, 2012). Além disso, apenas desta forma é possível fazer uma comparação significativa entre dois edifícios: só faz sentido comparar o desempenho energético de dois edifícios que tenham condições de fronteira semelhantes.

Assim sendo, é necessário especificar explicitamente um conjunto de condições de fronteira: funcionalidade, eficácia de espaço, condições climáticas e padrões de conforto (Sartori *et al.*, 2012). Cada uma destas condições de fronteira é explicada pormenorizadamente nas seguintes secções.



### **a) Funcionalidade**

A funcionalidade do edifício consiste no tipo de utilização para o qual o edifício foi projetado. Segundo o Anexo I da Reformulação do *EPBD* (2010), para efeitos de cálculo de desempenho energético, os edifícios devem ser devidamente classificados nas seguintes categorias:

- a) Habitações unifamiliares de diversos tipos;
- b) Edifícios de apartamentos;
- c) Edifícios de escritórios;
- d) Estabelecimentos de ensino;
- e) Hospitais;
- f) Hotéis e restaurantes;
- g) Instalações desportivas;
- h) Edifícios destinados a serviços de comércio grossista e retalhista;
- i) Outros tipos de edifícios que consomem energia.

Esta classificação relativamente à funcionalidade dos edifícios tem que ser realizada, uma vez que o valor total de consumo energético e os perfis de consumo variam muito dependendo da funcionalidade do edifício. Assim sendo, não faz qualquer sentido comparar o desempenho energético de edifícios de categorias diferentes. Caso seja realizada qualquer alteração em relação à funcionalidade do edifício, isto é, caso o edifício seja projetado para um determinado tipo de utilização e depois seja utilizado de outra forma, tal terá que ser tido em consideração aquando da comparação entre o desempenho energético esperado e o obtido na fase de monitorização.

### **b) Eficácia do espaço**

A eficácia do espaço pode ser expressa em termos de número de pessoas por unidade de área ou, consequentemente, em consumo energético por pessoa.

Qualquer alteração relativamente à eficácia do espaço tem que ser tida em consideração aquando a comparação entre o desempenho energético esperado e obtido na fase de monitorização.

### **c) Condições climáticas**

As condições climáticas de referência também devem ser especificadas, uma vez que, naturalmente, têm grande influência no consumo energético. Por exemplo, condições climáticas extremas conduzem a um consumo energético mais elevado: as necessidades de energia para climatização do espaço para aquecimento nos climas mais frios e para arrefecimento nos climas mais quentes) são mais elevadas. Em locais de clima ameno, o consumo energético não será tão elevado, uma vez que a temperatura interior estará mais próxima da temperatura desejável, pelo que a quantidade de energia necessária para fazer a temperatura interior subir ou descer até um nível de temperatura agradável é menor.

Outro exemplo é a influência que o número de horas de sol tem nas necessidades de energia para iluminação: quanto maior for o número de horas de iluminação natural, menor será o período de tempo durante o qual é utilizada iluminação artificial, o que resulta num consumo de energia elétrica mais reduzido.

Além disso, as condições climáticas não só têm impacto no consumo energético como também na produção de energia renovável local. Por exemplo, quanto mais elevada for a radiação solar no local, maior será a quantidade de energia elétrica produzida por um painel fotovoltaico.

Assim sendo, quaisquer variações em relação ao clima exterior devem ser tidas em conta aquando a comparação entre o desempenho energético esperado e o monitorizado: por exemplo, caso o ano de monitorização tenha sido especialmente quente ou frio (em comparação com os valores de referência), a procura de energia será diferente da esperada; da mesma forma, uma vez que a energia total produzida por um painel fotovoltaico é calculada utilizando determinados dados de radiação solar de referência, caso a radiação solar total seja muito diferente da esperada no ano de monitorização, a energia renovável produzida localmente também será diferente, o que terá um impacto significativo no desempenho energético do edifício.

#### **d) Padrões de conforto**

Outra condição de fronteira que deve ser especificada são os padrões de conforto considerados na fase de projeto. Naturalmente, diferentes configurações de temperatura interior conduzem a um consumo energético diferente.

O número de graus-dias de aquecimento (GD) caracteriza a severidade de um clima durante a estação de aquecimento: é igual ao somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura base e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento. As diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar. A metodologia de cálculo das necessidades de energia útil dos edifícios em Portugal foi alterada, sendo que uma das alterações foi a temperatura base a considerar: de 20°C (RCCTE, 2006) para 18°C (REH, 2013). Uma análise à habitação que será o alvo de estudo do presente documento mostrou que alteração da metodologia reduziu em 55% o valor máximo admissível para as necessidades de energia útil para aquecimento (*C.Santos*, 2013).

Assim sendo, quaisquer variações relativamente aos padrões de conforto devem ser tidas em conta aquando a comparação entre o desempenho energético esperado e o monitorizado.

## 5.2 Sistema de Ponderação

O desempenho energético de um edifício é avaliado com base na energia consumida para satisfazer as diferentes necessidades associadas à sua utilização típica (Reformulação do EPBD, 2010). No entanto, um edifício geralmente utiliza mais do que um vetor energético, tal como o gás natural, eletricidade, carvão, petróleo, lenha, aquecimento ou arrefecimento urbano, etc. Assim sendo, uma expressão comum que inclua todos os vetores energéticos utilizados no edifício é essencial, de modo a agregar as quantidades utilizadas que, caso contrário, são expressas em unidades diferentes (*Buildings Platform; Sartori et al*, 2012). Cada vetor energético terá, portanto, um fator de ponderação associado, o qual dependerá da métrica adotada.

### 5.2.1 Métrica

Uma das questões pertinentes em relação ao balanço da equação (1) é «O que se entende por procura e oferta “ponderados”, ou seja, quais os fatores de ponderação que devem ser utilizados?»

De facto, nas normas europeias não são especificados quaisquer valores normativos para a ponderação dos fluxos energéticos aquando a avaliação do desempenho energético de um edifício, pelo que está a cargo de cada Estado-Membro determinar os fatores de ponderação a serem utilizados.

Cada vetor energético deverá ter um fator de ponderação associado, o qual dependerá da métrica escolhida. De facto, não existem fatores de conversão corretos em termos absolutos, isto é, ao mesmo vetor energético é possível associar diferentes fatores de conversão, dependendo do âmbito da análise.

A cláusula 8 da norma EN 15603 oferece os seguintes métodos de agregação:

- Classificação por energia primária,
- Classificação por emissões de CO<sub>2</sub>,
- Classificação por políticas de energia nacionais.

Existem inúmeras métricas que podem ser utilizadas, no entanto, considerando os principais objetivos da implementação do conceito de NZEB, o principal foco do presente documento, é importante que seja realizada uma estimativa do impacto real da operação do edifício no consumo energético total e no meio ambiente, pelo que as classificações por energia primária e por emissões de CO<sub>2</sub> se tornam as mais relevantes. A classificação por políticas de energia nacional também será destacada no presente documento, uma vez que os fatores designados de «fatores de energia primária» nos regulamentos nacionais são muitas vezes, na realidade, fatores ajustados que incluem considerações políticas.

Cada uma destas classificações é apresentada detalhadamente nos capítulos seguintes e a Figura 15 sintetiza e esquematiza a informação apresentada nesses capítulos.

#### a) Classificação por energia primária

A classificação por energia primária permite realizar uma estimativa do impacto real da operação do edifício no consumo energético **total**: não interessa apenas a quantidade de energia que é fornecida ao edifício, mas também toda a energia que foi consumida para fazer chegar essa mesma quantidade de energia ao edifício.

Por exemplo, o conjunto de processos associados à produção de energia sob a forma de gás natural é diferente daquele associado à produção de energia sob a forma de eletricidade. Uma vez que diferentes processos têm diferentes rendimentos, a energia primária necessária para produzir uma unidade de energia sob a forma de gás natural é diferente daquela que é necessária para produzir uma unidade de

energia sob a forma de eletricidade. Assim sendo, na classificação por energia primária, cada vetor energético é ponderado com o respetivo **fator de energia primária**, definido a nível nacional. O fator de energia primária deve traduzir a relação entre a energia fornecida ao edifício e a energia primária total necessária para a rede fornecer essa mesma energia, tendo em conta as perdas de toda a cadeia energética (Bourelle *et al.*, 2013). Segundo a EN 15603, o fator de energia primária tem sempre em conta a extração do vetor energético e o seu transporte até ao local de utilização, tal como o processamento, armazenamento, geração, transmissão, distribuição e entrega (Building Platform, 2008).

Por exemplo, um fator de energia primária igual a 3 significa que a rede precisa de 3 unidades de energia primária para fornecer uma unidade de energia ao edifício. Assim sendo, quanto menos eficiente for o sistema energético da rede, maior será o valor do fator de energia primária.

Informações mais detalhadas acerca do fator de energia primária são apresentados no capítulo 6. Na Figura 13 e Figura 14 é apresentado um exemplo que ilustra o conceito de fator de energia primária.

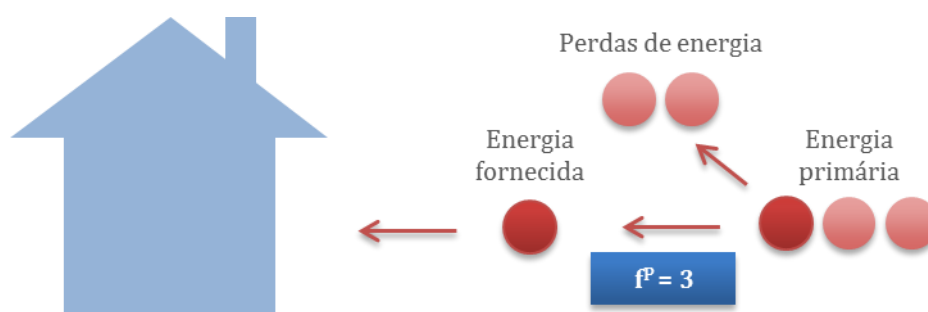


Figura 13 – Ilustração do conceito de fator de energia primária. Neste exemplo, o fator de energia primária é igual a 3 (adaptado de Bourelle *et al.*, 2013)

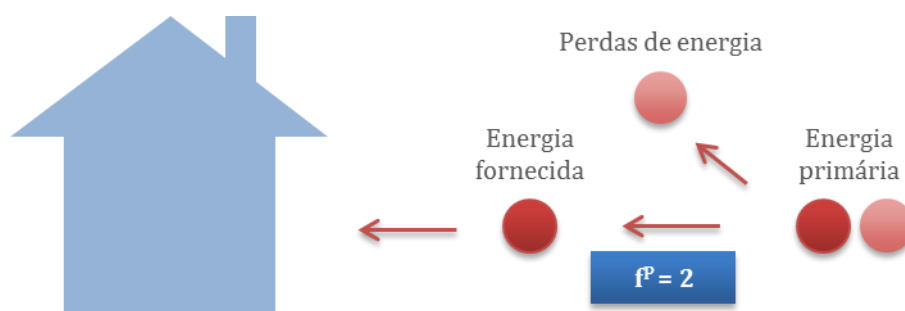


Figura 14 - Ilustração do conceito de fator de energia primária. Neste exemplo, o fator de energia primária é igual a 2 (adaptado de Bourelle *et al.*, 2013).

Na Figura 13, o fator de energia primária é igual a 3, o que significa que a rede precisa de 3 unidades de energia primária para fornecer uma unidade de energia ao edifício.

Na Figura 14, o sistema energético da rede é mais eficiente, o que se traduz na redução do fator de energia primária. Neste segundo caso, para fornecer a mesma quantidade de energia ao edifício, são consumidas apenas 2 unidades de energia primária.

Ou seja, analisando apenas a nível de energia fornecida ao edifício (ou seja, energia final), os dois casos parecem semelhantes, ou seja, os edifícios exigem a mesma quantidade de energia. No entanto, fazendo uma análise a nível de energia primária, conclui-se que no primeiro caso é consumida uma maior quantidade de energia primária. É por esta razão que é importante determinar o indicador de energia

primária, uma vez que apenas desta forma é avaliado o impacto real da operação do edifício no consumo energético total.

É de notar que na maioria dos documentos no âmbito dos NZEB é feita esta distinção entre “*site ZEB*” e “*source ZEB*”. Um “*site ZEB*” produz pelo menos tanta energia como aquela que utiliza, quando contabilizada do ponto de vista da “*site*” do edifício (*Torcellini et al.*), ou seja, neste caso o balanço é realizado em termos de energia final, sendo que a procura e a oferta de energia são contabilizadas sem aplicação de fatores de conversão. Um “*source ZEB*” produz pelo menos tanta energia como aquela que utiliza, quando é contabilizada do ponto de vista da fonte (*Torcellini et al.*), ou seja, neste caso o balanço é realizado em termos de energia primária.

É de notar que o balanço do ponto de vista da “*site*” do edifício não é um método robusto, principalmente quando a energia é entregue ao edifício por diferentes vetores energéticos (*Bourelle et al.*, 2013). O balanço do ponto de vista da fonte irá favorecer os vetores energéticos produzidos através de processos mais eficientes; no balanço do ponto de vista da “*site*” do edifício não existe qualquer diferenciação entre vetores energéticos: interessa apenas a quantidade de energia, não a sua qualidade.

Na secção 5.2.2.b) é apresentado o indicador de energia primária, o qual é determinado com base nesta classificação.

### b) Classificação por emissões de CO<sub>2</sub>

A classificação por emissões de dióxido de carbono permite realizar uma estimativa do impacto real da operação do edifício no meio ambiente, uma vez que fornece informação adicional relativamente às consequências da utilização de energia em termos de CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera.

Neste tipo de classificação, cada vetor energético é ponderado com o respetivo coeficiente de emissões de CO<sub>2</sub>, definido a nível nacional. Este coeficiente inclui as emissões totais de CO<sub>2</sub> associadas à **energia primária** utilizada pelo edifício, podendo também incluir emissões equivalentes de outros gases com efeitos de estufa, como por exemplo o metano (*Building Platform*, 2008).

Esta classificação irá, portanto, favorecer os vetores energéticos mais “verdes” e “amigos do ambiente”, ou seja, os vetores que são produzidos através de processos mais “limpos”. Assim sendo, faz sentido realizar esta avaliação no âmbito dos edifícios com necessidades nulas de energia, uma vez que um dos seus principais propósitos é a diminuição do impacto ambiental do consumo de energia em edifícios e a contribuição para a redução do aquecimento global no âmbito do Protocolo de Quioto.

Na secção 5.2.2.c) é apresentado o indicador de emissões de CO<sub>2</sub>, o qual é determinado com base nesta classificação.

### c) Classificação por políticas de energia nacional

Os fatores políticos ou fatores estratégicos são utilizados quando existe a necessidade de incluir considerações que não sejam de natureza científica, ou seja, considerações que não estão diretamente associadas à conversão de fontes primárias em vetores energéticos. Estes fatores podem ser utilizados de modo a favorecer ou prejudicar determinados vetores energéticos com base em quaisquer outros parâmetros definidos a nível político ou económico (*Sartori et al.*, 2012; *Bourelle et al.*, 2013).

Um exemplo bastante ilustrativo da possível necessidade de incluir outras considerações que não meramente científicas é o conhecido dilema «*food vs fuel*»: a biomassa e os biocombustíveis, numa análise baseada em emissões de dióxido de carbono, terão um fator de conversão associado bastante reduzido. Deste ponto de vista, estas são portanto soluções bastante atrativas, principalmente no âmbito dos NZEB, uma vez que um dos principais objetivos da implementação deste conceito é a redução da

emissão dos gases com efeito de estufa. No entanto, a energia derivada de biomassa e dos biocombustíveis pode ter impactos negativos de teor económico e social, caso sejam utilizadas explorações energéticas que possam competir com a agricultura, quer utilizando os mesmos produtos ou os mesmos terrenos. A utilização indiscriminada deste tipo de produtos pode levar à sua escassez e, consequentemente, à inflação dos preços dos produtos alimentares. Um exemplo deste conflito entre bioenergia e segurança alimentar é a procura crescente de milho-grão nos Estados Unidos da América para produção de bioetanol, o que tem constituído um fator de pressão adicional sobre os preços dos cereais. Assim sendo, de forma a evitar a inflação dos preços dos produtos alimentares e a interferência no normal abastecimento dos mercados de bens alimentares, pode ser desejável aumentar “politicamente” o fator de conversão associado à biomassa e aos biocombustíveis, de forma a reduzir a sua atratividade e incentivar a utilização de outros vetores energéticos sem consequências a nível socioeconómico (Sartori *et al*, 2012).

É de notar que os fatores designados de «fatores de energia primária» nos regulamentos nacionais não são, na maior parte das vezes, baseados inteiramente em argumentos científicos. São, na realidade, fatores ajustados que incluem considerações políticas (Ecofys, 2011).

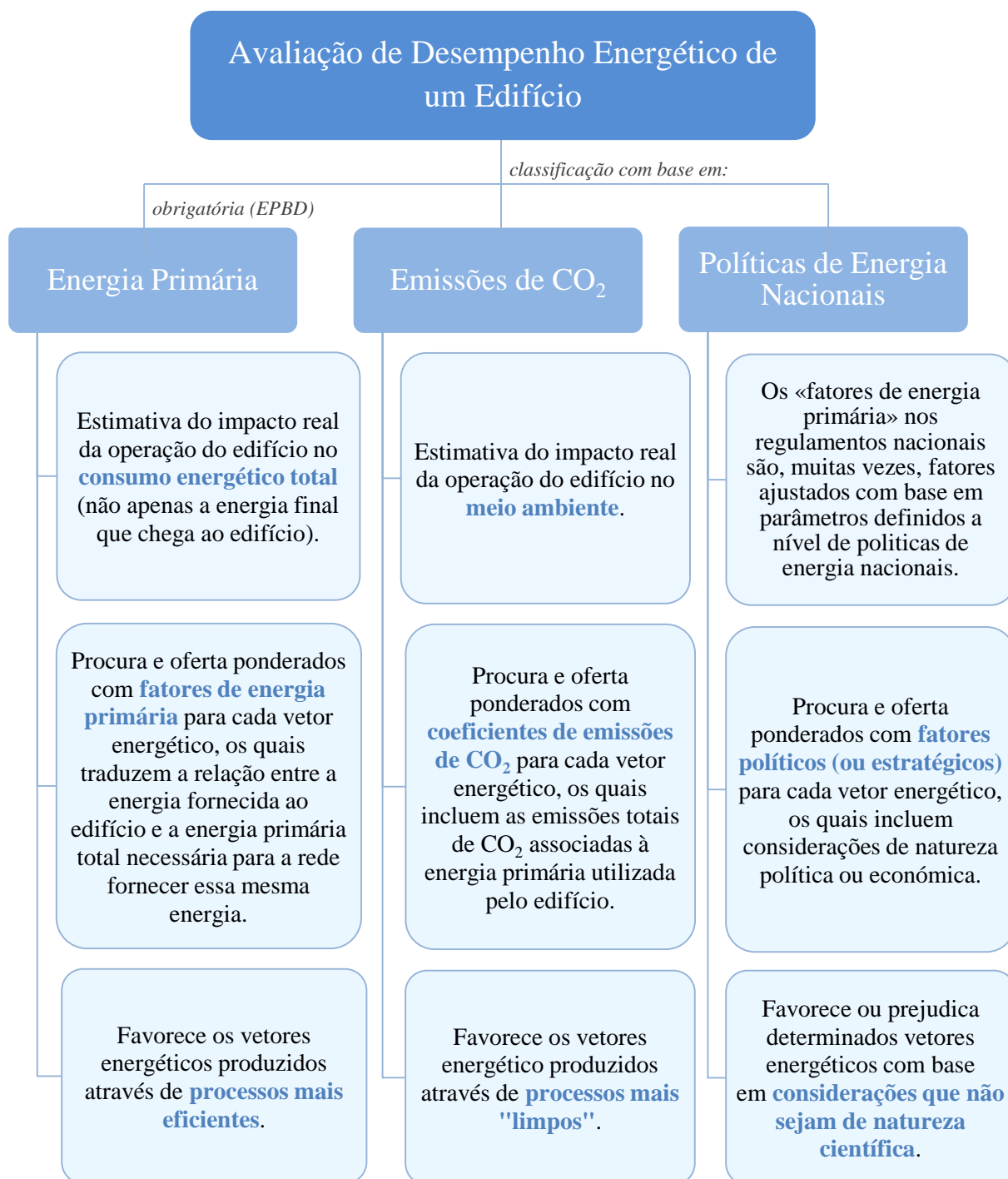


Figura 15 - Síntese das principais características das diferentes classificações para avaliação do desempenho energético de edifícios apresentadas na norma *EN 15603*.

### 5.2.2 Avaliação do desempenho energético de edifícios: cálculo de indicadores numéricos relevantes

Tal como já foi referido anteriormente, a reformulação da EPBD visa uma abordagem comum com espaço para diferenciação: os princípios gerais que fornecem o conjunto de requisitos de desempenho energéticos e os seus objetivos devem ser estabelecidos a nível da Comunidade; no entanto, de forma a

respeitar os princípios de subsidiariedade e proporcionalidade, os pormenores de implementação devem ser deixados a cargo de cada Estado-Membro, permitindo assim que cada um escolha o regime que melhor corresponde à sua situação particular (*Buildings Platform*, 2008).

Assim sendo, a Diretiva EPBD estabelece um quadro comum para a metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios (Anexo I); no entanto, no que diz respeito aos procedimentos para tal cálculo, deixa espaço de manobra aos Estados-Membros para diferenciarem a nível nacional ou regional.

A Diretiva EPBD exige que, no âmbito da avaliação do desempenho energético de um edifício, seja apresentado, pelo menos, um indicador de desempenho energético e um indicador de energia primária.

#### Reformulação do EPBD, 2010 (Anexo I):

“O desempenho energético de um edifício é expresso de modo transparente e inclui um indicador de desempenho energético, bem como o indicador numérico de utilização de energia primária, em função de fatores de energia primária por vetor energético, podendo tomar-se como base as médias anuais ponderadas, nacionais ou regionais, ou um valor específico para a produção *in situ*”.

É, no entanto, possível adicionar em paralelo outros indicadores de desempenho energético (REHVA, 2013), sendo que entidades na área da energia apoiam a utilização de outros indicadores além do indicado de energia primária (*Ecofys*, BPIE). Assim sendo, será também apresentado um indicador de emissões de CO<sub>2</sub>, uma vez que, tal como já foi referido anteriormente, faz sentido realizar uma avaliação do ponto de vista das emissões de CO<sub>2</sub> no âmbito dos NZEB. Da mesma forma, é importante avaliar a penetração da energia renovável no sector dos edifícios, pelo que será apresentado um indicador complementar, a fração de energia renovável (*Renewable Energy Ratio*).

Os indicadores apresentados nas secções 5.2.2.b), c) e d) são introduzidos no relatório da REHVA (2013), para os quais foi adotado um balanço de energia importada vs energia exportada (ver secção 5.3.2.a).

#### a) Indicador de desempenho energético

O indicador de desempenho energético é normalmente um rácio entre um valor representativo do consumo energético do edifício e um valor de referência.

Em Portugal, para edifícios de habitação, este indicador é determinado pelo rácio da expressão (2) (Despacho n.º 15793-J/2013):

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (2)$$

onde  $N_{tc}$  corresponde ao valor das necessidades nominais anuais de energia primária e  $N_t$  corresponde ao valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária, ambos calculados de acordo com o disposto no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação.

A classe energética do edifício é determinada através do valor de  $R_{Nt}$ . No despacho n.º 15793-J/2013 é apresentada uma escala de classificação energética composta por 8 classes, correspondendo a cada classe um intervalo de valores de  $R_{Nt}$  (ver Tabela 2).



Tabela 2 – Intervalos de valor de  $R_{Nt}$  para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de modelo tipo Habitação

Classe Energética	Valor de $R_{Nt}$
A +	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B -	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

### Valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária, $N_t$

O limite para as necessidades nominais de energia primária é determinado de acordo com o disposto no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (Despacho nº 15793-B/2013). Tal valor é determinado admitindo a inexistência de consumos de energia associados à ventilação mecânica e de sistemas de aproveitamento de energias renováveis, incluindo sistemas de energia solar para preparação de AQS, considerando os valores e condições de referência indicados na Tabela I.03 do mesmo Despacho:

$$N_t = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} N_i}{\eta_{ref,k}} \right) f_j^p + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} N_v}{\eta_{ref,k}} \right) f_j^p + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} Q_a / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) f_j^p \quad (3)$$

em que  $N_i$  e  $N_v$  são os valores máximos admissíveis para as necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, respetivamente, expressas em kWh/(m²ano);  $Q_a$  representa as necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema  $k$  [kWh/ano];  $f_{i,k}$ ,  $f_{v,k}$  e  $f_{a,k}$  são as parcelas das necessidades de energia de aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS, respetivamente, supridas pelo sistema  $k$ ;  $\eta_{ref,k}$  são valores de referência para o rendimento dos diferentes tipos de sistemas técnicos utilizados ou previstos para aquecimento e arrefecimento ambiente e preparação de AQS (indicadores na tabela I.03, como referido);  $A_p$  é a área interior útil de pavimento, expressa em m²;  $f_j^p$  é o fator de conversão para energia primária de acordo com a fonte de energia  $j$  do tipo de sistemas de referência utilizado [kWh<sub>ep</sub>/kWh].<sup>3</sup>

### Necessidades nominais anuais de energia primária, $N_{tc}$

As necessidades nominais anuais de energia primária de um edifício de habitação são determinadas de acordo com o disposto no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (Despacho nº 15793-I/2013). Tal valor resulta da soma das necessidades nominais específicas de energia primária relacionadas com os  $n$  usos: Aquecimento ( $N_{ic}$ ), arrefecimento ( $N_v$ ), preparação de AQS ( $Q_a/A_p$ ) e ventilação mecânica ( $W_{vm}/A_p$ ), deduzidas de eventuais contribuições de fontes de energia renovável ( $E_{ren,i}/A_p$ ):

<sup>3</sup> Na legislação portuguesa, os fatores de conversão entre energia final e energia primária são indicados através da nomenclatura  $F_{pu,j}$ , no entanto, no presente documento utilizar-se-á a nomenclatura  $f_j^p$ .

$$N_{tc} = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} N_{ic}}{\eta_k} \right) f_j^p + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \delta N_{vc}}{\eta_k} \right) f_j^p + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} Q_a / A_p}{\eta_k} \right) f_j^p + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} f_j^p - \sum_i \frac{E_{ren,i}}{A_p} f_i^p \quad (4)$$

em que  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  são as necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, respetivamente, expressas em kWh/(m<sup>2</sup>ano);  $Q_a$  representa as necessidades de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano];  $W_{vm}$  é a energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores [kWh/ano];  $E_{ren,i}$  é a energia produzida a partir da fonte de energia renovável  $i$ , incluindo apenas energia consumida [kWh/ano];  $\eta_k$  representa a eficiência do sistema  $k$ , que toma o valor 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida;  $A_p$  é a área interior útil de pavimento, expressa em m<sup>2</sup>;  $f_j^p$  e  $f_i^p$  representam fatores de conversão para energia primária [kWh<sub>ep</sub>/kWh];  $j$  representa todas as fontes de energia, incluindo as de origem renovável;  $i$  representa as fontes de energia renovável;  $\delta$  é um fator igual 1, exceto para o uso de arrefecimento, em que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

### b) Indicador de energia primária

O indicador numérico de utilização de energia primária é obrigatório de acordo com a reformulação do EPBD e é determinado, tal como o nome indica, com base numa classificação por energia primária (ver secção 5.2.1.a).

A energia primária é calculada para cada vetor energético separadamente, a partir da energia importada e da energia exportada. É de notar que, segundo a REHVA, o objetivo principal da análise for expressar a utilização de combustíveis fósseis ou outras fontes de energia não-renováveis poluentes, deve ser utilizado o fator de energia primária não-renovável. Assim sendo, aquando do cálculo do indicador de energia primária, a REHVA aconselha a utilização de fatores de energia primária não-renovável (ver secção 6.1).

A energia primária não-renovável total é dada pela diferença entre os somatórios de energia primária importada e energia primária exportada, como se verifica na expressão (7) (REHVA, 2013; *Buildings Platform*, 2008).

É de notar que esta expressão é uma variante do balanço representado pela expressão (1), em que o fator de ponderação é o fator de energia primária, a procura corresponde à energia importada e a oferta corresponde à energia exportada. No entanto, aquando a avaliação de um balanço, convencionou-se que à oferta é subtraída a procura, de modo a que o resultado do balanço seja mais positivo quanto mais favorável for a situação; na determinação do indicador de energia primária, convencionou-se que à procura é subtraída a oferta, de modo a que o indicador seja mais elevado quanto maior for a necessidade de energia primária. Assim sendo, no caso de avaliação de um balanço, é desejável que o resultado seja o mais positivo possível; no caso da determinação do indicador numérico, é desejável que o resultado seja o menor possível.

Segundo a reformulação do EPBD (2010), o indicador numérico da utilização de energia primária deve ser expresso em kWh/m<sup>2</sup> por ano. Assim sendo, o indicador de energia primária é dado pelo quociente entre a energia primária total e a área de pavimento útil, como se verifica na expressão (7) (REHVA, 2013):

$$I_P = \frac{E_{nren}^P}{A_p} = \frac{\sum_i (E_{imp,i} f_{imp,nren,i}^P) - \sum_i (E_{exp,i} f_{exp,nren,i}^P)}{A_p} \quad (5)$$

em que  $E_{nren}^P$  é a energia primária não renovável total, em kWh/ano;  $E_{imp,i}$  e  $E_{exp,i}$  são os fluxos de energia importada e exportada, respetivamente, para o vetor energético  $i$ , em kWh/ano;  $f_{imp,nren,i}^P$  e  $f_{exp,nren,i}^P$  são os fatores de energia primária não-renovável para a energia importada e exportada, respetivamente, para o vetor energético  $i$ . Por defeito, estes dois fatores são iguais. No entanto, cabe a cada Estado-Membro optar ou não por uma ponderação simétrica (ver capítulo 5.2.3);  $A_p$  é a área de pavimento útil, em  $m^2$ , calculada de acordo com a definição nacional.

### c) Indicador de emissões de CO<sub>2</sub>

A determinação do indicador de emissões de CO<sub>2</sub> não é obrigatória pela legislação europeia. No entanto, tal como já foi referido anteriormente, faz sentido determiná-lo no âmbito dos NZEB, uma vez que um dos seus principais propósitos é a diminuição do impacto ambiental do consumo de energia em edifícios e a contribuição para a redução do aquecimento global no âmbito do Protocolo de Quioto.

De forma similar à energia primária, a massa de CO<sub>2</sub> emitida é determinada para cada vetor energético separadamente, a partir da energia importada e da energia exportada, tal como se verifica na expressão (6) (REHVA, 2013; *Buildings Platform*, 2008). Esta expressão é também uma variante do balanço representado pela expressão (1), em que o fator de ponderação é o coeficiente de emissões de dióxido de carbono.

Sendo um indicador de desempenho energético, o indicador de emissões de CO<sub>2</sub> também deve ser expresso em kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> por ano, de acordo com a reformulação do EPBD (2010). Assim sendo, é dado pelo quociente entre a massa total de CO<sub>2</sub> emitida e a área de pavimento útil.

$$I_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{A_{pav,útil}} = \frac{\sum_i (E_{imp,i} K_{imp,i}) - \sum_i (E_{exp,i} K_{exp,i})}{A_{pav,útil}} \quad (6)$$

em que  $m_{CO_2}$  é massa de dióxido de carbono total emitida para atmosfera, em kg CO<sub>2</sub>/ano;  $K_{imp,i}$  e  $K_{exp,i}$  são coeficientes de emissão de CO<sub>2</sub> para a energia importada e para a energia exportada, respetivamente, para o vetor energético  $i$  (em kg CO<sub>2</sub>/kWh). Por defeito, estes dois fatores são iguais. No entanto, cabe a cada Estado-Membro optar ou não por uma ponderação simétrica (ver capítulo 5.2.3).

### d) Fração de energia renovável (*Renewable Energy Ratio* – RER)

Tal como já foi referido anteriormente, a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no sector dos edifícios é uma das medidas importantes necessárias para reduzir a dependência energética da União, o consumo de energia primária não-renovável e as consequentes emissões de gases com efeito de estufa - os principais objetivos da reformulação do EPBD (2010). Assim sendo, o relatório da REHVA (2013) introduziu um indicador complementar: a fração de energia renovável no consumo energético (*Renewable Energy Ratio* – RER). Embora a avaliação do RER não seja exigida diretamente pelo EPBD, faz todo o sentido determiná-lo no âmbito do tema deste documento.

Na determinação da fração de energia renovável todas as fontes de energia renovável são contabilizadas. Tal inclui a energia solar térmica, energia solar fotovoltaica, energia eólica, energia hídrica, energia renovável capturada a partir de fontes de calor do meio ambiente por bombas de calor, combustíveis renováveis e energia renovável *off-site* (REHVA, 2013; Kurnitski *et al.*, 2013).

A fronteira de utilização de energia renovável, tal como os fluxos de energia relevantes para o cálculo do *RER*, são mostrados no esquema da Figura 16. Este esquema é semelhante ao da Figura 12, sendo adicionados os fluxos de energia térmica capturados das fontes de calor do meio ambiente por bombas de calor e de refrigeração. Estes fluxos são incluídos na fronteira de utilização de energia renovável uma vez que, para o cálculo do *RER* as bombas de calor não são apenas vistas como sistemas técnicos do edifício que exigem importação de energia elétrica mas também como sistemas capazes de extrair energia térmica a partir de fontes do meio ambiente (REHVA, 2013; Kurnitski, 2013). Ou seja, uma bomba de calor, para trabalhar, necessita de energia elétrica, que pode ser importada da rede ou fornecida pelos sistemas de energia renovável; desse ponto de vista, a bomba de calor é um sistema técnico do edifício que está incluído na fronteira de utilização de energia. No entanto, utilizando essa energia elétrica, a bomba de calor é capaz de extrair energia térmica a partir de fontes de calor do meio ambiente (água, solo, ar); desse ponto de vista, a bomba de calor é vista como um gerador de energia renovável e a quantidade de energia térmica por esta extraída e bombeada para o edifício é considerada energia renovável *on-site*. O COP de uma bomba de calor é a razão entre a energia térmica que é extraída pela bomba e a energia elétrica que a bomba necessita para tal.

É importante voltar a salientar que a energia solar passiva pertence à fronteira de balanço, não à fronteira de utilização de energia. Assim sendo, também não pertence à fronteira de utilização de energia renovável, pelo que não é contabilizada na determinação do *RER* (REHVA, 2013; Kurnitski, 2013).

O cálculo da fração de energia renovável é realizado a nível de energia primária, pelo que os fluxos de energia importada e exportada devem ser ponderados com os respetivos fatores de energia primária.

A fração de energia renovável (*RER*) é dada pela razão entre o consumo de energia primária de origem renovável e o consumo de energia primária total:

$$RER = \frac{\sum_i E_{ren,i} + \sum_i (f_{imp,tot,i}^p - f_{nren,tot,i}^p) E_{imp,i}}{\sum_i E_{ren,i} + \sum_i (E_{imp,i} f_{imp,tot,i}^p) - \sum_i (E_{exp,i} f_{exp,tot,i}^p)} \quad (7)$$

A quantidade de energia renovável consumida no edifício (numerador) inclui a energia renovável produzida no local,  $\sum_i E_{ren,i}$ , e a energia renovável importada,  $\sum_i (f_{imp,tot,i}^p - f_{nren,tot,i}^p) E_{imp,i}$ . É de notar que a energia importada é ponderada com o fator de energia primária renovável (diferença entre os fatores de energia primária total e não-renovável), obtendo a quantidade de energia importada que é de origem renovável. O consumo de energia primária (denominador) inclui a energia renovável produzida localmente,  $\sum_i E_{ren,i}$ , e a energia primária total importada,  $\sum_i (E_{imp,i} f_{imp,tot,i}^p)$ , às quais é subtraída a energia primária total exportada,  $\sum_i (E_{exp,i} f_{exp,tot,i}^p)$ .

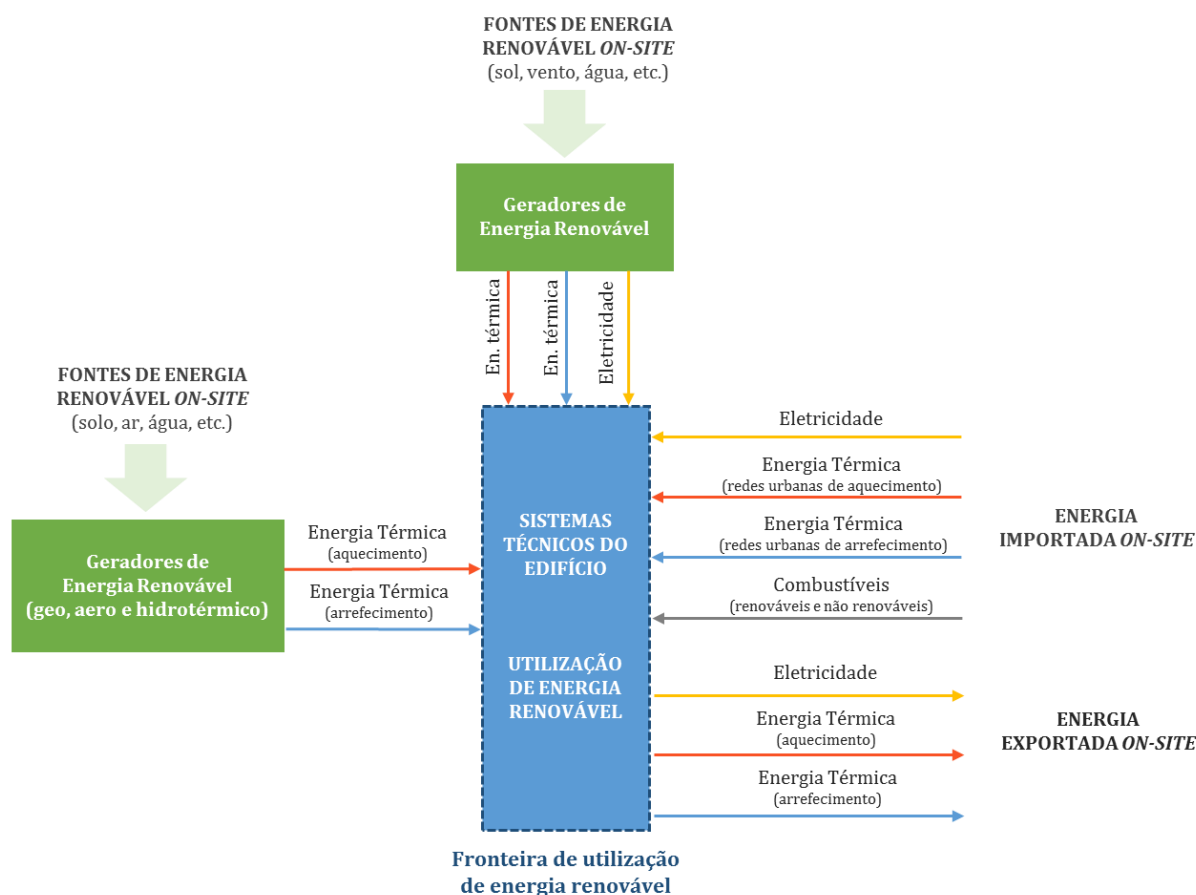


Figura 16 – Fronteira de utilização de energia renovável e fluxos de energia relevantes para a determinação da fração de energia primária (RER) (adaptado de REHVA, 2013)

### 5.2.3 Simetria do sistema de ponderação

O sistema de ponderação pode ser simétrico, caso o fator de ponderação para a energia exportada seja igual ao fator de ponderação para a energia importada, ou pode ser assimétrico, caso os fatores de ponderação sejam diferentes.

#### a) Sistema de ponderação simétrico: uma abordagem de “carga evitada”

Tal como já foi referido anteriormente, em termos de classificação por energia primária, a maioria dos Estados-Membros optaram por um sistema de ponderação simétrico, ou seja, optaram por utilizar o mesmo fator de energia primária para a energia importada e para a energia exportada (Ecofys, 2011).

O fundamento da ponderação simétrica é que a energia renovável produzida localmente irá evitar uma geração equivalente noutro ponto da rede, portanto, a energia exportada é ponderada com um valor de substituição que é igual ao fator de energia primária da rede (Sartori *et al*, 2012). Isto é, a energia renovável produzida localmente evita o consumo de energia primária que teria sido exigido à rede para que esta fornecesse a mesma quantidade de energia ao edifício. Nesta perspetiva, um edifício atinge o estatuto de NZEB porque evita a utilização de energia primária que teria sido necessária no caso de um edifício tradicional. Esta é, portanto, uma abordagem de carga evitada (*avoided burden approach*) (Bourelle *et al*, 2013).

Por exemplo, caso a energia elétrica da rede seja produzida por uma central termoeleétrica com um rendimento médio de 40%, são necessários 2,5 kWh sob a forma combustível para produzir 1 kWh de eletricidade. Ao produzir-se eletricidade localmente a partir de um painel fotovoltaico instalado no edifício, evita-se a utilização desses 2,5 kWh que teriam sido necessários caso a energia fosse importada da rede. Assim sendo, **num balanço com sistema de ponderação simétrico, a energia exportada é valorizada como a energia primária que teria sido necessária à rede para fornecer a mesma quantidade de energia ao edifício.**

### i) Implicações do sistema de ponderação simétrico

A utilização de um sistema de ponderação simétrico cria uma situação paradoxal: quanto menor for a eficiência global do conjunto de processos associados à importação de energia da rede, mais elevado será o fator de ponderação para a energia importada e, consequentemente, para a energia exportada. Tal significa que um edifício ao qual seja entregue energia elétrica derivada de processos ineficientes verá a sua eletricidade de origem renovável exportada ponderada com um valor mais elevado do que se a eletricidade da rede tivesse sido produzida e entregue ao edifício por processos mais eficientes (*Bourelle et al.*, 2013). Este é o principal problema associado aos balanços energéticos baseados numa abordagem de carga evitada: este tipo de abordagem não incentiva a eficiência energética do sistema de energia da rede, beneficiando as redes menos eficientes: uma rede que se apoia em tecnologias ineficientes e que exige uma quantidade elevada de energia primária para entregar energia aos edifícios leva a que mais créditos sejam dados à exportação de renováveis em comparação com uma rede que se apoia em tecnologias de ponta e renováveis (*Bourelle et al.*, 2013).

Para clarificar esta ideia, as Figuras 17 e 18 ilustram duas situações distintas para o mesmo edifício, mas considerando duas redes de referência diferentes. Por questões de simplificação, considerou-se que o único vetor energético utilizado nestes edifícios é a eletricidade. Considerou-se um balanço de energia importada / energia exportada (ver capítulo 5.3.2) com base numa classificação por energia primária (ver capítulo 5.2.1). Assim sendo, com base no balanço da expressão (1), para que o edifício cumpra o requisito de NZEB, tem-se que:

$$E_{\text{exp,el}} f_{\text{exp,el}}^p - E_{\text{imp,el}} f_{\text{imp,el}}^p = 0$$

Uma vez que o sistema de ponderação é simétrico, o fator de energia primária aplicado à energia exportada é igual ao fator de energia primária da energia importada da rede, logo:

$$f_{\text{exp,el}}^p = f_{\text{imp,el}}^p \Rightarrow E_{\text{exp,el}} - E_{\text{imp,el}} = 0 \Leftrightarrow E_{\text{exp,el}} = E_{\text{imp,el}}$$

Ou seja, para que o edifício atinja o estatuto de NZEB, a energia elétrica exportada pelo edifício tem que, pelo menos, igualar a energia elétrica que lhe é fornecida pela rede.

Considerou-se que o edifício da Figura 17 está ligado a uma rede com um fator de energia primária igual a 3, valor próximo da realidade para a maioria dos países europeus (*Bourelle et al.*, 2013), o que significa que para a rede fornecer 1 unidade de energia elétrica ao edifício, são necessárias 3 unidades de energia primária. No segundo caso, na Figura 18, considera-se uma rede mais eficiente, com um fator de energia primária igual a 1,5. Utilizando a mesma quantidade de energia primária que foi necessária à rede do primeiro caso, ou seja, 3 unidades, esta segunda rede mais eficiente consegue fornecer 2 unidades:

$$f^p = \frac{E^p}{E_{\text{final}}} \Leftrightarrow E_{\text{final}} = \frac{E^p}{f^p} \Leftrightarrow E_{\text{final}} = \frac{3}{1,5} \Leftrightarrow E_{\text{final}} = 2$$

Uma vez que o edifício tem que exportar a mesma quantidade de energia elétrica que lhe é fornecida pela rede, no primeiro caso o edifício terá que exportar 1 unidade de energia, enquanto que no segundo caso terá que exportar 2. Considerando a mesma quantidade de energia primária, um edifício ligado a uma rede elétrica mais eficiente tem que exportar uma maior quantidade de energia que o mesmo edifício ligado a uma rede menos eficiente.

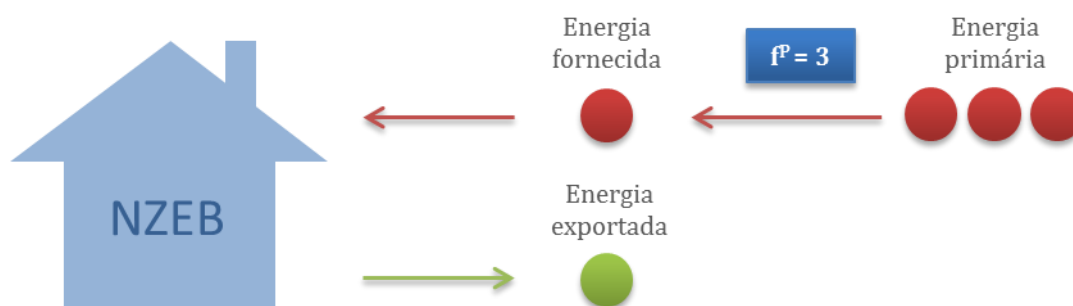


Figura 17 - Edifício de balanço de energia nulo com base num sistema de ponderação simétrico: abordagem de «carga evitada». Fator energia primária igual a 3 (adaptado de Bourelle et al, 2013).

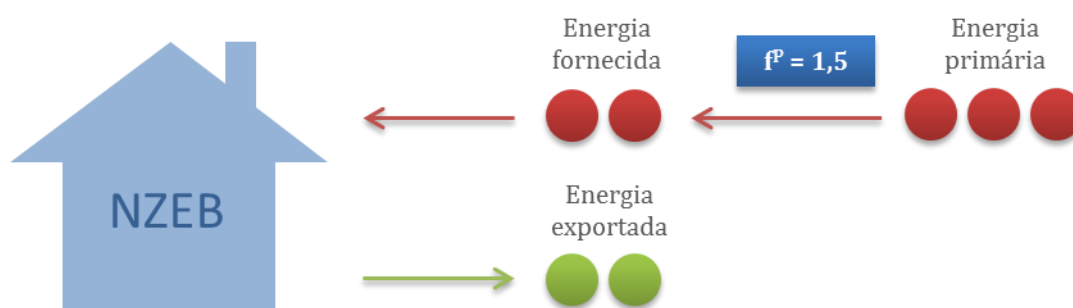


Figura 18 - Edifício de balanço de energia nulo com base num sistema de ponderação simétrico: abordagem de «carga evitada». Fator energia primária igual a 1,5 (adaptado de Bourelle et al, 2013).

Parece contraintuitivo que a energia renovável exportada por um edifício seja valorizada dependendo da eficiência do sistema energético da rede e especialmente que o seu valor seja mais elevado quanto menor for a eficiência da rede. Em Bourelle et al. (2013) é apresentado um exemplo interessante que salienta esta incoerência: um edifício hipotético cujas necessidades de aquecimento do espaço e AQS são cobertas exclusivamente por importação de gás natural e a carga elétrica é totalmente suprida por energia renovável produzida localmente. O excedente de produção renovável é exportado para a rede elétrica e o balanço é calculado com base num sistema de ponderação simétrico. Quanto mais eficiente for a rede elétrica, mais reduzido será o fator de energia primária aplicado à eletricidade renovável exportada, pelo que será necessário exportar uma maior quantidade de energia para compensar a importação de gás natural. O que torna este exemplo interessante é o facto de não existir importação de energia elétrica e, no entanto, a eletricidade de origem renovável exportada ser ponderada com o fator de energia primária da rede elétrica. Para que este edifício atinja o estatuto de NZEB, terá que exportar tanta mais energia elétrica quanto mais elevada for a eficiência do sistema energético da rede, quando nem sequer utiliza energia importada da mesma.

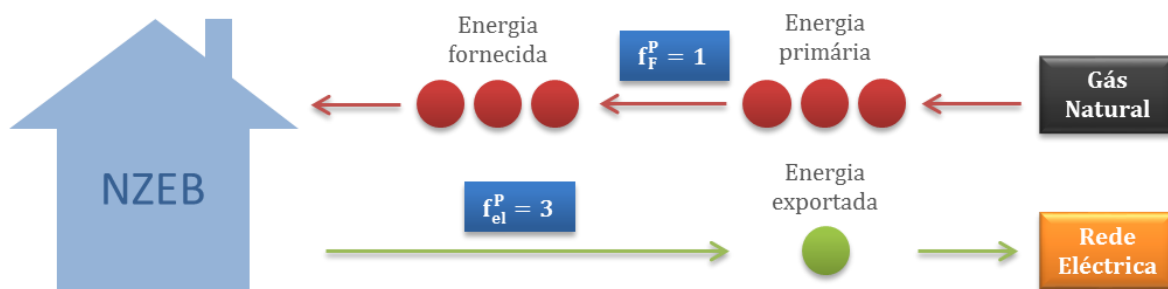


Figura 19 - Edifício de balanço de energia nulo com base num sistema de ponderação simétrico: abordagem de «carga evitada». Importação de gás natural e exportação de eletricidade de origem renovável. Fator energia primária igual a 3 (adaptado de *Bourelle et al.*, 2013).

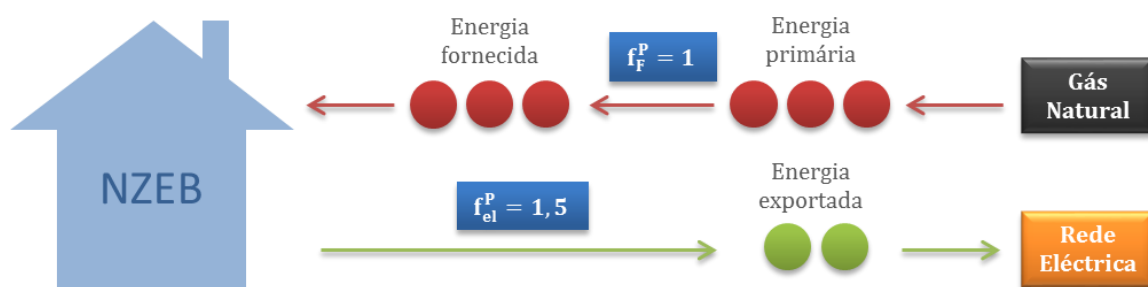


Figura 20 - Edifício de balanço de energia nulo com base num sistema de ponderação simétrico: abordagem de «carga evitada». Importação de gás natural e exportação de eletricidade de origem renovável. Fator energia primária igual a 1,5 (adaptado de *Bourelle et al.*, 2013).

As Figuras 19 e 20 ilustram o exemplo acima apresentado. Para ambas as situações, considerou-se um fator de energia primária igual a 1 para o gás natural, em conformidade com o valor utilizado em Portugal para qualquer combustível não-renovável (Despacho nº 15793-D/2013). Na Figura 19, uma vez que o fator de energia primária associado à energia da rede elétrica é igual a 3, a exportação de 1 unidade de energia sob a forma eletricidade evita o consumo de 3 unidades de energia primária, as quais teriam sido necessárias à rede para fornecer a unidade de energia ao edifício. Assim sendo, para compensar as 3 unidades de energia sob a forma de gás natural importadas, o edifício só necessita de exportar 1 unidade de energia sob a forma de eletricidade.

Na Figura 20, a rede elétrica é mais eficiente, pelo que 3 unidades de energia primária permitiriam o fornecimento de 2 unidades de energia elétrica. Assim sendo, para compensar as 3 unidades de energia sob a forma de gás natural importadas, o edifício necessita de exportar 2 unidades de energia sob a forma de eletricidade.

Como se verifica nas figuras, nenhum dos edifícios recorre a importação de energia da rede elétrica, no entanto, a energia elétrica exportada é, em ambos os casos, valorizada com base no fator de energia primária da rede, sendo que o edifício ligado à rede elétrica mais eficiente necessita de exportar uma maior quantidade de energia renovável para compensar a mesma quantidade energia sob a forma de gás natural importada.

Em paralelo com este paradoxo, é também questionável se um edifício que atinge o estatuto de NZEB com base numa abordagem de carga evitada pode ser considerado um «edifício com procura de energia primária não-renovável líquida de 0 kWh/(m²ano)», o requisito para um NZEB segundo o relatório da REHVA (2013). Como se pode verificar nos esquemas das Figuras 19 e 20, o edifício para ser



considerado NZEB apenas é obrigado a exportar a quantidade de energia que lhe foi fornecida pela rede, independentemente da energia primária que foi utilizada para produzir essa mesma energia. A questão que se coloca é se será suficiente o edifício apenas “compensar” a energia importada da rede, entregando à rede apenas a energia que lhe foi fornecida ou deverá “pagar” pela energia importada, entregando à rede toda a energia primária que foi consumida para fazer chegar essa mesma energia ao edifício. No capítulo seguinte é apresentado um balanço de *payback*, baseado num sistema de ponderação assimétrico.

### **b) Sistema de ponderação assimétrico**

O fundamento da ponderação assimétrica é que a procura e a oferta de energia não têm o mesmo valor, pelo que o fator de ponderação aplicado à energia exportada não deve ser o mesmo que é aplicado à energia importada (*Sartori et al.*, 2012). Duas situações são possíveis:

- **O fator de ponderação aplicado à energia importada é mais elevado:**

Tal tem em conta o custo e as perdas de energia no “lado da rede” associadas ao transporte e armazenamento da energia exportada: uma unidade de energia exportada terá que ser transportada para ser utilizada noutro local, o que implica perdas de energia e, caso a energia não seja precisa no momento em que é exportada, terá ainda que ser armazenada, o que implicará perdas adicionais. Esta opção pode ser utilizada quando se tem como objetivo reduzir a interação entre o edifício e a rede de energia e promover o consumo-próprio de energia produzida localmente. Um edifício com elevado consumo-próprio corre menos perigo de colocar “stress” adicional ao funcionamento das redes de energia: a exportação de eletricidade produzida localmente funciona, muitas vezes, como uma estratégia de economia de carga no período de vazio em vez de economizar carga no período de base.

Esta opção pode também ser a solução para os principais problemas dos balanços baseados numa abordagem de carga evitada: a penalização de edifícios ligados a redes mais eficientes e a falta de garantia de que um edifício considerado NZEB com base neste tipo de abordagem tenha realmente uma procura de energia não-renovável líquida nula. Seguidamente é apresentado um balanço de *payback*, com base num sistema de ponderação assimétrico em que a energia importada terá um peso mais elevado no balanço (de facto, não é aplicado qualquer fator de ponderação à energia exportada).

- **O fator de ponderação aplicado à energia exportada é mais elevado:**

Esta opção irá favorecer a exportação de energia renovável produzida *on-site*. Pode ser utilizada quando o principal objetivo é promover a difusão de tecnologias renováveis. No entanto, tal solução reduz o incentivo para o aumento da eficiência energética dos sistemas técnicos utilizados no edifício, uma vez que, visto que a energia importada “pesará” menos no balanço, não será tão “grave” importar energia da infraestrutura energética. Assim sendo, a utilização deste tipo de balanço aumenta o risco de edifícios ineficientes serem classificados como NZEB devido a sistemas de geração local sobredimensionados.

### **i) Balanço de *payback*: uma abordagem atributiva**

Tal como já foi referido anteriormente, os balanços energéticos baseados num sistema de ponderação simétrica têm dois principais problemas: não incentivam a eficiência do sistema energético da rede, beneficiando as redes menos eficientes, e não garantem que um edifício classificado como NZEB tenha realmente uma procura de energia não-renovável líquida nula.

É portanto apresentada uma nova abordagem, introduzida por *Bourelle et al.* (2013), que tem como objetivo corrigir os problemas associados a um sistema de ponderação simétrica.

Os balanços com um sistema de ponderação simétrica baseiam-se numa abordagem consequente: definem um NZEB com base na consequência que este tem nas trocas de energia com a rede. Com base numa abordagem deste tipo, um edifício cumprirá, ou não, o requisito de NZEB com base na sua capacidade de «compensar» pela energia primária que lhe foi fornecida. (Bourelle *et al.*, 2013).

Esta nova abordagem é atributiva: atribui o impacto ambiental associado à produção e operação da unidade funcional, ou seja, o edifício. Um balanço baseado numa abordagem atributiva exige que o edifício «pague» toda a energia primária consumida durante o seu ciclo de vida (Bourelle *et al.*, 2013).

O fundamento da abordagem atributiva é que, para garantir que a procura de energia não-renovável líquida de um edifício seja nula, toda a energia primária necessária em cada etapa do ciclo de vida do edifício tem que ser devolvida à infraestrutura energética. Por outras palavras, a energia exportada não deve ter qualquer fator de ponderação associado: se uma rede energética necessita de 3 unidades de energia para fornecer 1 unidade ao edifício, o edifício terá que pagar as 3 unidades à rede. O esquema da Figura 21 ilustra o princípio base de uma abordagem atributiva.

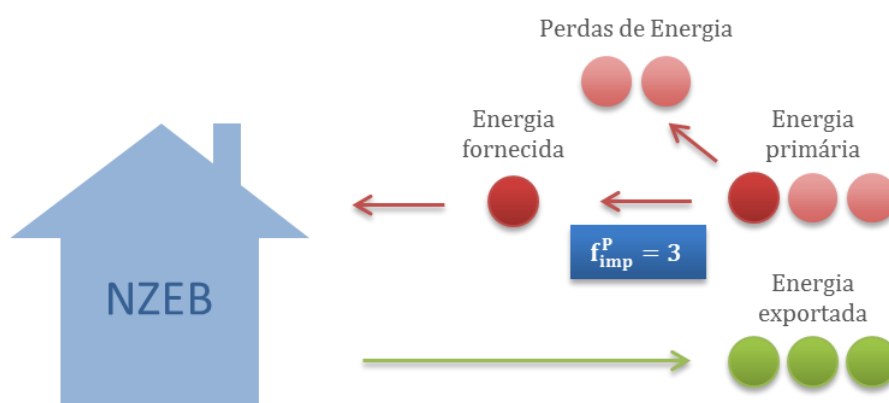


Figura 21 - Edifício de balanço de energia nulo com base numa abordagem atributiva. Fator energia primária igual a 3 para a energia importada. Não é aplicado fator de ponderação à energia exportada (adaptado de Bourelle *et al.*, 2013).

É de notar que, desta forma, é resolvido o problema associado à ponderação simétrica, a qual beneficia as redes menos eficientes. A Figura 22 representa o mesmo edifício ligado a uma rede mais eficiente que a rede da Figura 21. Verifica-se que em ambos os casos é fornecida uma unidade de energia ao edifício. No entanto, o edifício da Figura 21, ligado a uma rede menos eficiente, tem que pagar 3 unidades de energia enquanto o edifício da Figura 22, ligado a uma rede mais eficiente, tem que pagar apenas 2. Desta forma, conclui-se que uma abordagem atributiva incentiva a eficiência energética do sistema da rede de energia, favorecendo as redes mais eficientes.

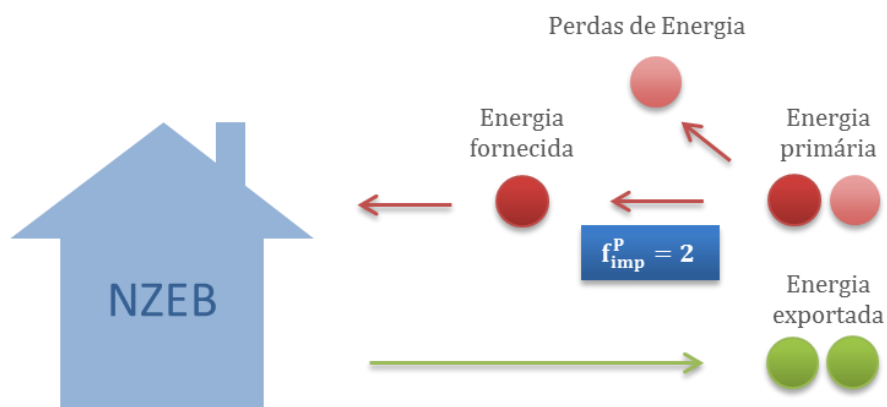


Figura 22 - Edifício de balanço de energia nulo com base numa abordagem atributiva. Fator energia primária igual a 2 para a energia importada. Não é aplicado fator de ponderação à energia exportada (adaptado de Bourelle et al., 2013).

Em Bourelle et al. (2013) é apresentado um balanço de *payback* com base numa abordagem atributiva. Um balanço baseado neste tipo de abordagem, tal como já foi referido, exige que o edifício devolva toda a energia primária consumida durante o seu ciclo de vida inteiro. Assim sendo, neste balanço de *payback* é contabilizada não só a energia primária incorporada na energia importada (que corresponde à energia primária necessária para que a rede forneça ao edifício a energia por este exigida) mas também a energia primária incorporada nos sistemas de energia renovável e nos materiais do próprio edifício. Tal como já foi referido na secção 5.1.1, o investimento energético nos materiais e nos sistemas de energia renovável pode ser bastante significativo, especialmente em edifícios com elevada eficiência energética e produção local. Consequentemente, a importância da energia incorporada nos materiais e nos sistemas técnicos aumenta e torna-se importante incluí-la no balanço no âmbito dos NZEB como edifícios sustentáveis e “amigos do ambiente” (Sartori et al., 2012).

A equação traduz o balanço de *payback* apresentado por Bourelle et al. (2013), o qual é realizado entre energia importada e exportada (ver capítulo 5.3.2. Tipo de balanço):

$$\sum_i E_{exp,i} - \sum_i (E_{imp,i} f_{imp,i}^p) - \sum_i E_{inc,edif,i}^p - \sum_i E_{inc,SER,i}^p = 0 \quad (8)$$

À energia exportada (à qual não é aplicado qualquer fator de ponderação) é subtraída a energia primária total incorporada na energia importada,  $\sum_i (E_{imp,i} f_{imp,i}^p)$ , a energia primária incorporada nos materiais do próprio edifício,  $\sum_i E_{inc,edif,i}^p$  e a energia primária incorporada nos sistemas de energia renovável,  $\sum_i E_{inc,SER,i}^p$ .

O mesmo balanço pode ser realizado entre geração e carga, quando não está disponível uma estimativa do consumo próprio. Quando não é conhecido o valor da energia incorporada nos materiais do edifício e nos sistemas de energia renovável, pode ser feita uma estimativa utilizando os fatores de energia primária incorporada no edifício e de energia primária incorporada nos sistemas de energia renovável<sup>4</sup>, respetivamente, apresentados em Bourelle et al., 2013.

<sup>4</sup> É de notar que em Bourelle et al., o fator de energia primária incorporada nos SER é apresentado como «non-renewable primary energy factor». No entanto, para não haver confusão com o fator de energia primária não renovável,  $f_{nren}^p$ , optou-se por alterar a designação no presente documento.

O **fator de energia primária incorporada no edifício** é uma estimativa da fração de energia utilizada na construção de materiais do próprio edifício em relação à procura total (ciclo de vida completo):

$$f_{\text{edif},i}^p = \frac{\sum_i E_{\text{inc,edif},i}^p}{\sum_i^{tot} C_i} \quad (9)$$

A análise de 34 edifícios *Minergie-A* na Suíça (edifícios novos ou remodelados com baixo consumo energético) mostrou que a energia incorporada no edifício é cerca de 36% a 57% da procura total, dependendo da inclusão da iluminação e dos dispositivos na fronteira de balanço (Hall, 2012).

Este fator dependerá, no entanto, dos materiais utilizados no edifício, dos processos de construção e demolição e da procura de energia na fase operacional (Bourelle *et al.*, 2013). Por exemplo, como já foi referido anteriormente, o investimento energético em materiais utilizados no próprio edifício é normalmente mais significativo em edifícios com elevada eficiência energética, uma vez que estes edifícios utilizam uma maior quantidade de materiais, como por exemplo isolamento térmico, cujo fabrico é de utilização intensiva de energia (Sartori *et al.*, 2012); no entanto, a utilização deste tipo de materiais tem bastante impacto na redução da procura energética na fase de operação do edifício. O fator de energia incorporada no edifício traduz esta relação entre a energia despendida na fase de projeto para construção de materiais e a energia necessária durante todo o ciclo de vida do edifício.

O **fator de energia primária incorporada nos sistemas de energia renovável (SER)** expressa a razão entre o “investimento energético” nos sistemas de energia renovável e o total de energia renovável produzida durante o seu tempo de vida. Apesar dos sistemas de energia renovável serem capazes de converter energia proveniente de fontes renováveis em energia útil, é necessária uma quantidade significativa de energia primária de origem não-renovável para a sua construção. Assim sendo, uma fração da energia renovável produzida localmente deve ser devolvida à rede como um “pagamento” da energia primária não-renovável consumida na fase de construção dos sistemas de energia renovável, a qual é determinada pelo fator de energia incorporada nos SER:

$$f_{\text{SER},i}^p = \frac{\sum_i E_{\text{inc,SER},i}^p}{\sum_i^{tot} G_i} \quad (10)$$

O fator de energia incorporada nos sistemas de energia renovável depende não só do tipo de tecnologia utilizada como também do local onde é utilizada, isto é, depende da eficiência e da eficácia da tecnologia (Bourelle *et al.*, 2013):

- Quanto mais eficiente for a tecnologia, mais elevada será a geração de energia renovável, logo, mais reduzido será o fator de energia incorporada nos sistemas de energia renovável e, consequentemente, menor será a quantidade de energia que terá que ser devolvida à rede para pagar a energia incorporada no sistema de energia renovável.
- O aumento da eficácia do sistema também reduz o fator de energia incorporada nos SER. No entanto, ao contrário da eficiência que depende apenas do tipo de tecnologia utilizada, a eficácia depende também do local onde o sistema está a ser utilizado. O fator será mais reduzido em locais onde a disponibilidade da fonte de energia renovável é mais elevada. Por exemplo, um painel solar fotovoltaico converterá uma maior quantidade de energia num local onde a radiação solar é mais elevada e, consequentemente, o fator será mais reduzido. O mesmo painel colocado num local com radiação solar mais reduzida será tão eficiente mas menos eficaz, pelo que a razão entre o investimento energético e a geração total será mais elevada.

### c) Abordagem de carga evitada vs abordagem de payback

Os princípios subjacentes às abordagens de “carga evitada” e às abordagens de “payback” são igualmente relevantes para avaliar um sistema (Bourelle *et al.*, 2013).

A Figura 23 ilustra o balanço baseado em cada uma das duas abordagens, para o mesmo edifício, o qual está ligado a uma rede com um fator de energia primária igual a 3. No balanço de carga evitada o edifício apenas tem que devolver a unidade de energia que lhe foi fornecida, independentemente da quantidade de energia primária que foi necessária para que a rede lhe fornecesse essa energia. Neste tipo de abordagem, a energia exportada é valorizada como a energia primária que teria sido necessária à rede para fornecer a mesma quantidade de energia ao edifício. O edifício apenas tem que devolver uma unidade de energia à rede pois essa unidade está a evitar o consumo de 3 unidades de energia primária.

No entanto, uma abordagem de carga evitada não tem em conta as perdas de energia no “lado da rede” associadas ao transporte e armazenamento de energia exportada. A unidade de energia que é exportada terá que ser transportada para ser utilizada noutro local, o que implica perdas de energia. Caso a energia não seja precisa no momento em que é exportada, terá ainda que ser armazenada, o que implicará perdas adicionais. Assim sendo, a energia que chega ao ponto de utilização será muito menor que a energia que foi exportada, pelo que não é totalmente correto pensar que aquela unidade de energia exportada evitou o consumo de 3 unidades de energia primária.

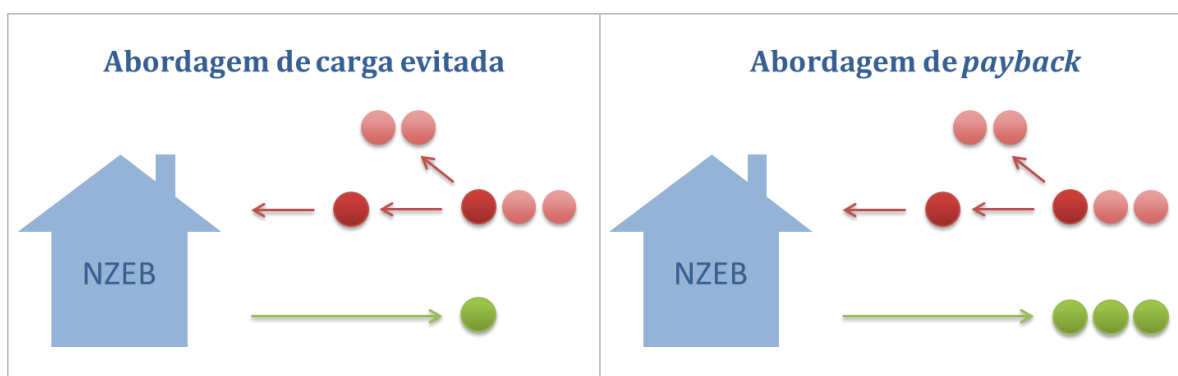


Figura 23 - Abordagem de carga evitada vs Abordagem de payback. Fator de energia primária igual a 3 (adaptado de Bourelle *et al.*, 2013).

Além disso, quando o edifício recorre à importação de energia da rede, têm que ser consumidas 3 unidades de energia por cada unidade fornecida ao edifício. Esta quantidade de energia que foi, na realidade, energia primária necessária ao funcionamento do edifício é desprezada. Nesta perspetiva, não é garantido que um NZEB definido com base numa abordagem de carga evitada tenha uma procura de energia primária não-renovável líquida igual a zero. Para que tal seja garantido, o balanço tem que ser realizado com base numa abordagem de *payback*, ou seja, o edifício tem que devolver à rede toda a energia primária necessária ao seu funcionamento durante o seu ciclo de vida. Tal inclui a energia primária incorporada na energia importada e a energia incorporada nos materiais do próprio edifício e nos sistemas técnicos do edifício, incluindo os sistemas de energia renovável. Com se verifica no esquema do lado direito da Figura 23, o mesmo edifício, para cumprir o requisito de NZEB, tem que devolver à rede 3 unidades de energia renovável por cada unidade que lhe é fornecida.

É de notar que, devido ao elevado custo da energia importada da rede, um balanço de *payback* irá incentivar o consumo-próprio de energia renovável produzida localmente e a redução da interação com a rede. Isto é, o balanço será mais fácil de atingir quanto maior for a compatibilidade entre carga e geração e, consequentemente, a energia renovável produzida localmente que é utilizada diretamente no edifício (consumo-próprio). No caso de um balanço de carga evitada, é indiferente se o edifício atinge

o estatuto de NZEB devido essencialmente a um elevado consumo-próprio ou à utilização da rede de energia como forma de armazenamento.

O esquema da Figura 24 sintetiza as principais diferenças entre uma abordagem consequente (métodos de carga evitada) e uma abordagem atributiva (métodos de *payback*) apresentados nos capítulos anteriores.

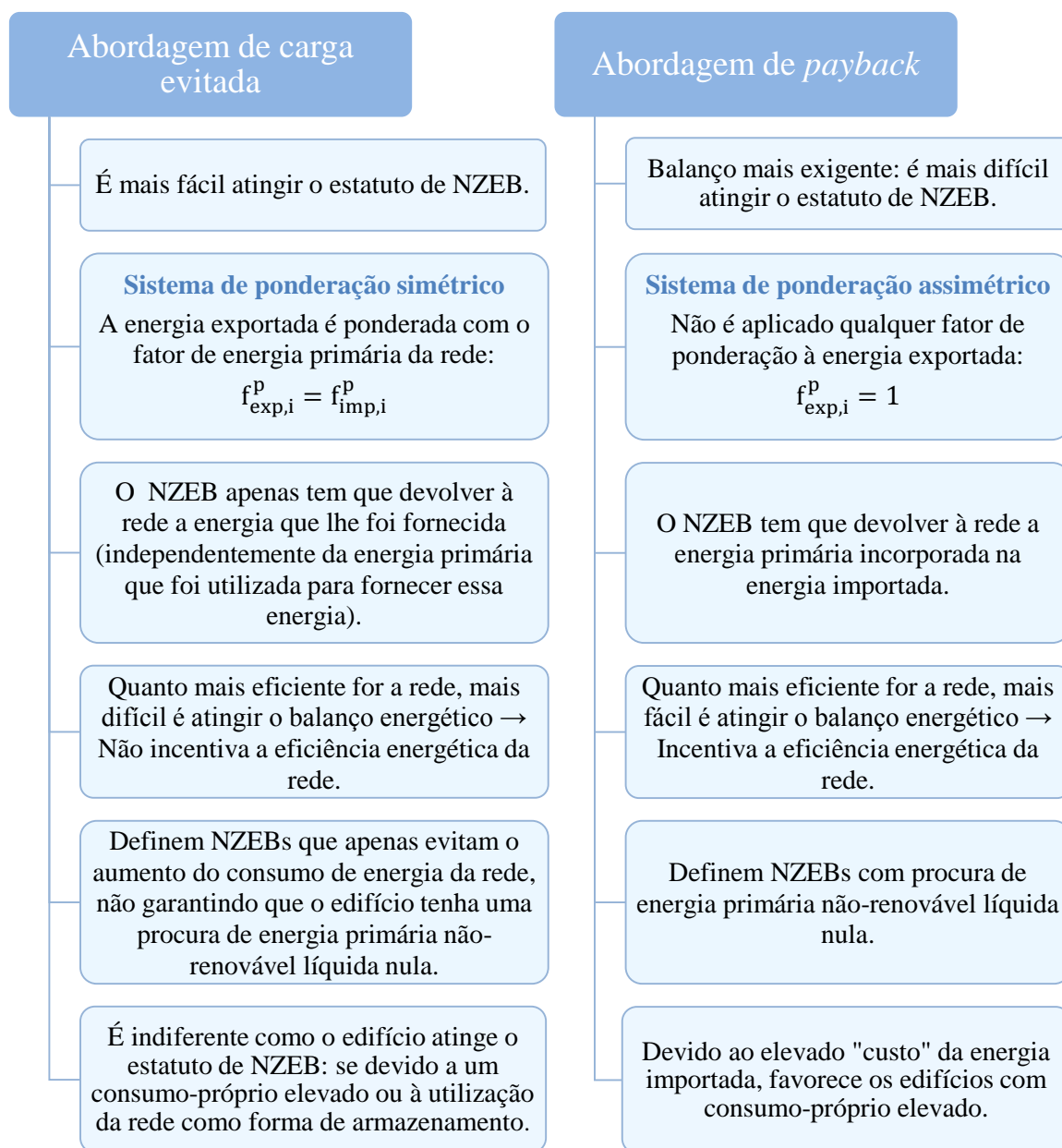


Figura 24 - Síntese das principais diferenças entre abordagem de carga evitada e abordagem de *payback*.

## 5.3 Balanço NZEB

### 5.3.1 Período de balanço

O período considerado para a realização do balanço é nominalmente um ano, de forma a cobrir todas as configurações operacionais devido a diferentes condições climáticas, as quais dependem das estações do ano (*Sartori et al.*, 2012).

### 5.3.2 Tipo de balanço

Tal como já foi referido anteriormente, o princípio base dos NZEB é o balanço entre a procura e a oferta ponderadas. No entanto, não é explícito o que se entende por «procura» e «oferta». A «procura» é a carga energética do edifício ou apenas a energia que é efetivamente importada da rede? A «oferta» é toda a energia renovável produzida no local ou apenas a energia que é exportada para a rede?

De facto, o balanço pode ser calculado de diferentes formas, dependendo das quantidades que são de interesse e da disponibilidade de dados, nomeadamente o **consumo próprio**. O consumo próprio consiste na parte de energia renovável produzida localmente que é utilizada diretamente no edifício. Assim sendo, depende fortemente dos padrões de consumo energético dos utilizadores finais, pelo que é muito variável no tempo e difícil de estimar na fase de projeto.

Aquando da disponibilidade de uma estimativa do consumo próprio, é possível realizar um balanço de energia importada/energia exportada. Quando tal estimativa não está disponível, pode ser realizado um balanço de carga vs geração ou um balanço líquido. Existe ainda outra alternativa, o balanço mensal líquido, que funciona como um compromisso entre os outros dois últimos. Estes quatro tipos de balanço serão apresentados detalhadamente as secções seguintes. Na secção 5.3.2e) é feita uma comparação entre os métodos, destacando as principais vantagens e desvantagens de cada um (ver Figura 30).

#### a) Balanço de Energia Importada / Energia Exportada

Um NZEB, sempre que possível, utiliza energia renovável gerada no local. Apenas quando a geração local não é suficiente para suprir a carga energética do edifício é que o edifício recorre à importação de energia da infraestrutura energética. Quando a geração é superior à carga exigida pelo edifício, o excedente de energia renovável é exportado para a infraestrutura energética.

O balanço de energia importada / energia exportada é o mais realista e o que fornece uma informação mais completa, uma vez que tem em conta esta interação entre o edifício e a rede. O balanço é realizado com base nos fluxos energéticos efetivamente trocados entre o edifício e a infraestrutura energética.

Este é o método que normalmente é aplicado na fase de monitorização, uma vez que neste caso se conhecem os fluxos energéticos que são realmente importados e exportados. Pode também ser aplicado na fase de projeto, dependendo da capacidade de estimar o consumo-próprio. No entanto, é muito difícil de prever o perfil temporal de consumo energético dos utilizadores finais e a maioria das normas nacionais também não fornecem quaisquer dados normativos a este respeito, o que impossibilita a estimativa do consumo-próprio e, consequentemente, da energia importada e da energia exportada.

A expressão (11) representa o requisito mínimo para que o edifício seja considerado um NZEB com base num balanço de energia importada / energia exportada (*Sartori et al.*, 2012).

$$\sum_i (E_{exp,i} f_{exp,i}) - \sum_i (E_{imp,i} f_{imp,i}) = 0 \quad (11)$$

### b) Balanço de Carga / Geração

Quando não está disponível uma estimativa do consumo próprio, pode ser realizado um balanço entre a carga e a geração brutas, desprezando a interação entre o edifício e a infraestrutura energética. Este balanço pode ser visto como o cenário mais pessimista, uma vez que despreza a interação entre o edifício e a rede, assumindo completa incompatibilidade entre os perfis de carga e de geração.

Este tipo de balanço integrar-se-á facilmente nas normas nacionais, uma vez que não exige a disponibilidade de dados normativos adicionais para a estimativa do consumo próprio.

A expressão (12) representa o requisito mínimo para que o edifício seja considerado um NZEB com base num balanço de carga vs geração (*Sartori et al*, 2012).

$$\sum_i (G_i f_{\text{exp},i}) - \sum_i (C_i f_{\text{imp},i}) = 0 \quad (12)$$

### c) Balanço Líquido

Outra alternativa para quando não se encontra disponível uma estimativa do consumo próprio é o balanço líquido. Enquanto o balanço de carga vs geração é apresentado como o cenário mais pessimista, este balanço líquido pode ser visto como o cenário mais otimista: neste tipo de balanço, assume-se que a compatibilidade entre carga e geração é máxima. Ou seja, caso a geração seja inferior à carga, considera-se que toda a energia produzida é consumida no local e apenas o restante é fornecido pela rede. Caso a geração seja superior à carga, considera-se que toda a carga é suprida por energia produzida no local e apenas o excedente é exportado para a rede.

Assim sendo, aquando da realização do balanço líquido, é primeiro necessário estabelecer, para cada vetor energético, o que é maior: a carga ou a geração (eq. (13) e (14)). A expressão (15) representa o requisito mínimo para que o edifício seja considerado um NZEB com base num balanço líquido:

$$G_i = \max[0, g_i - c_i] \quad (13)$$

$$C_i = \max[0, c_i - g_i] \quad (14)$$

$$\sum_i G_i f_{\text{exp},i} - \sum_i C_i f_{\text{imp},i} = 0 \quad (15)$$

### d) Balanço Líquido Mensal

Alternativamente, pode ser realizado um balanço líquido mensal: assume-se que a geração e a carga mensais, para cada vetor energético, equilibram-se entre si e apenas os valores residuais mensais, designados de «consumo próprio mensal virtual», são somados para formar o total anual (*Sartori et al*, 2012). Assim sendo, o cálculo do balanço líquido mensal exige apenas dados de carga e geração numa resolução mensal, não requer perfis temporais de consumo detalhados com resolução horária ou sub-horária como o balanço de energia importada / energia exportada.

É de notar que este balanço é bastante otimista, uma vez que se assume compatibilidade máxima entre os perfis de consumo e geração para cada mês, o que se traduz num valor de consumo próprio o mais elevado possível para cada mês.



Este balanço acaba por funcionar como um compromisso entre os outros balanços, uma vez que embora não requeira dados com uma resolução tão exigente como o balanço de energia importada / energia exportada, não despreza totalmente a interação entre o edifício e a rede, como o balanço de carga vs geração e o balanço líquido. Embora os valores de consumo próprio mensal virtual sejam aproximações grosseiras, fornecem alguma informação relativamente à interação sazonal do edifício com as redes de energia (*Sartori et al*, 2012).

A expressão (18) representa o requisito mínimo para que o edifício seja considerado um NZEB com base num balanço líquido mensal (*Sartori et al*, 2012).

$$g_{m,i} = \sum_m \max[0, g_i - c_i] \quad (16)$$

$$c_{m,i} = \sum_m \max[0, c_i - g_i] \quad (17)$$

$$\sum_i g_{m,i} f_{exp,i} - \sum_i c_{m,i} f_{imp,i} = 0 \quad (18)$$

### e) Comparação entre os tipos de balanço

#### Considerando um sistema de ponderação simétrico

A principal diferença entre os tipos de balanço apresentados reside na quantidade de geração renovável local que é utilizada para consumo próprio ou “virtualmente” considerada como consumo próprio. O balanço de carga vs geração assume que o consumo próprio é nulo, enquanto os valores de «consumo próprio virtual» considerados nos balanços líquidos podem ser vistos como os limites superiores do consumo próprio (desde que não seja considerado armazenamento), numa base anual para o balanço líquido e numa base mensal para o balanço líquido mensal. Assim sendo, graficamente, o balanço de carga vs geração resulta num ponto de coordenadas mais longe da origem e os balanços líquidos resultam em pontos de coordenadas mais próximos da origem (ver Figura 25). Uma vez que o balanço de energia importada vs energia exportada tem em conta o consumo próprio real, é de esperar que o respetivo ponto de coordenadas fique entre os últimos dois

No entanto, no caso de um sistema de ponderação simétrico, os três balanços são coerentes uns com os outros, tal como se verifica na Figura 25. De facto, aplicados ao mesmo caso, o resultado final será o mesmo para os três balanços.

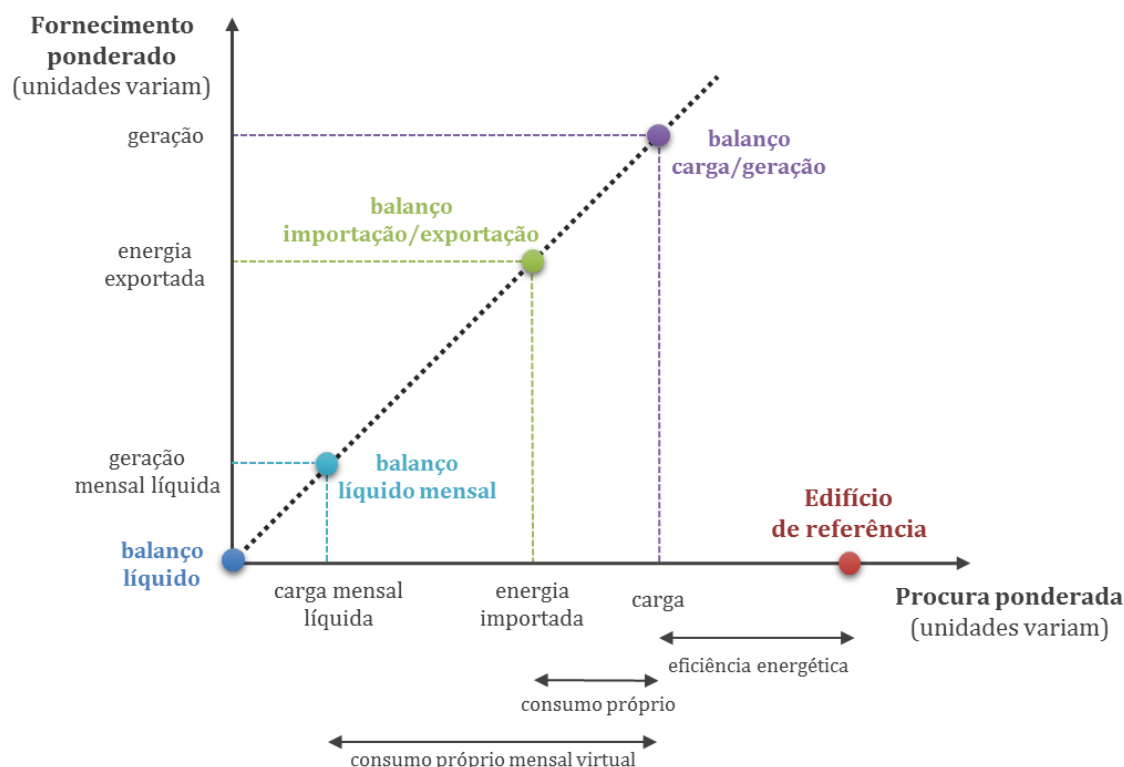


Figura 25 - Representação gráfica dos diferentes tipos de balanço: balanço de importação/exportação, balanço de carga/geração e balanço líquido mensal, considerando um sistema de ponderação simétrico (adaptado de *Sartori et al.*, 2012)

### Considerando um sistema de ponderação assimétrico

No caso de ponderação assimétrica, a oferta e a procura não são ponderadas com o mesmo fator de ponderação, pelo que o resultado final será diferente para cada um dos balanços. Com o objetivo de clarificar tal situação, seguidamente é apresentado um exemplo comparativo entre o balanço líquido (cenário mais otimista) e o balanço carga vs geração (cenário mais pessimista): ver Figuras 26 a 29. É de notar que para todos os casos se considerou um balanço assimétrico, em que é o fator de energia primária para a energia importada é igual a 3 e não é aplicado fator de energia primária à energia exportada ( $f_{imp}^p = 3$ ,  $f_{exp}^p = 1$ ).

As Figura 26 e Figura 27 representam o mesmo edifício, num cenário em que a carga é superior à geração. Na Figura 26 é realizado um balanço líquido, ou seja, considera-se que toda a energia renovável produzida localmente é utilizada para consumo próprio, sendo a restante parte da carga coberta por energia importada da infraestrutura energética. Na Figura 27 é realizado um balanço carga vs geração, ou seja, considera-se que toda a energia produzida localmente é exportada e a carga energética do edifício é totalmente coberta por energia importada.

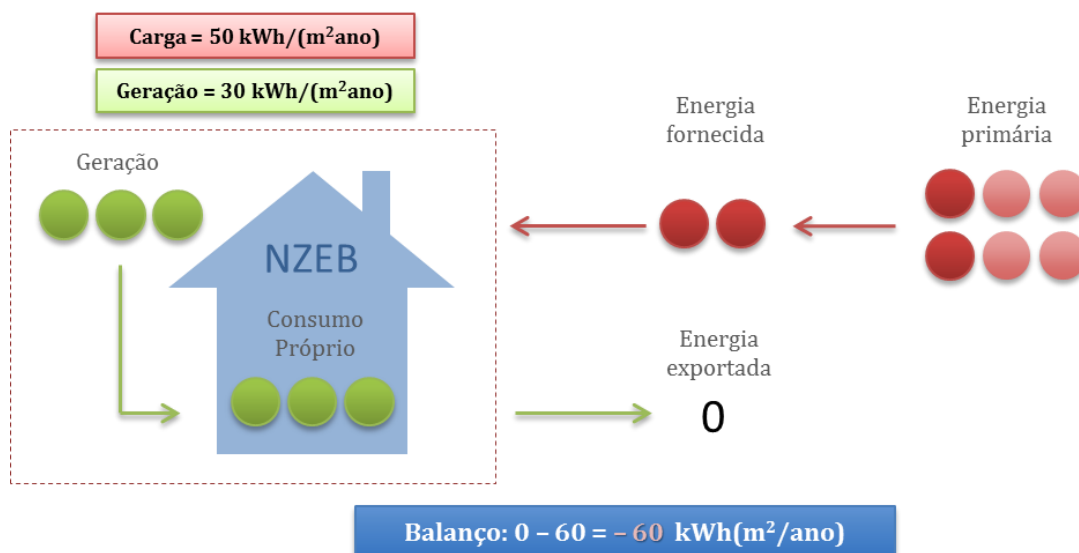


Figura 26 - Balanço líquido com ponderação assimétrica. Carga > Geração (adaptado de Bourelle et al., 2014).<sup>5</sup>

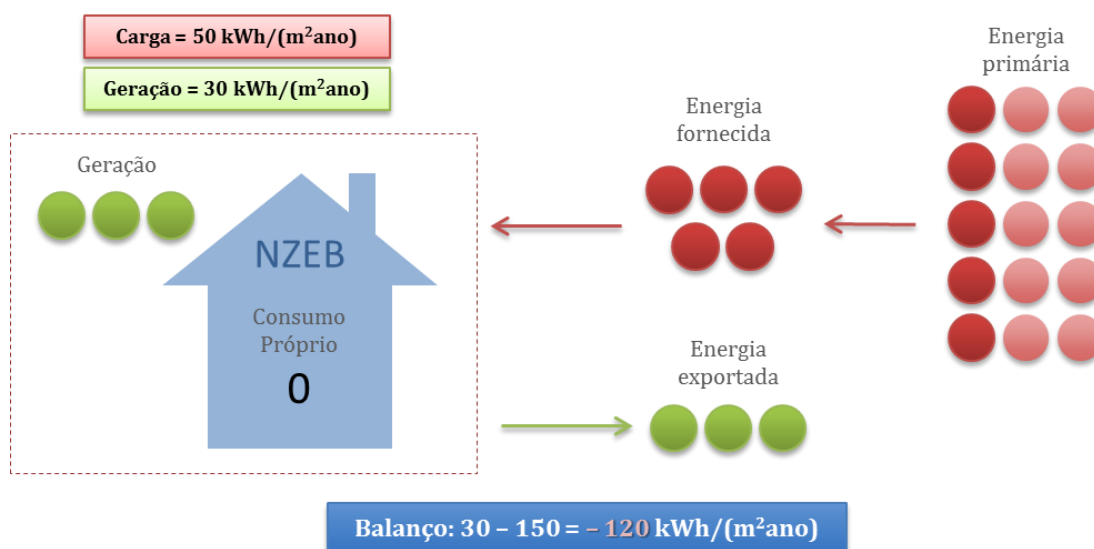


Figura 27 - Balanço carga vs geração com ponderação assimétrica. Carga > Geração (adaptado de Bourelle et al., 2014).<sup>5</sup>

As Figura 28 e Figura 29 representam um cenário em que a geração é superior à carga. Na Figura 28 é realizado um balanço líquido, ou seja, considera-se que a carga é inteiramente suprida por energia renovável produzida localmente, pelo que não é necessário recorrer a importação de energia. O excedente de produção de energia renovável é exportado. Na Figura 29 é realizado um balanço carga vs geração, ou seja, considera-se que toda a energia produzida localmente é exportada e a carga energética do edifício é totalmente coberta por energia importada.

<sup>5</sup> Cada elemento representa 10 kWh/(m²ano).

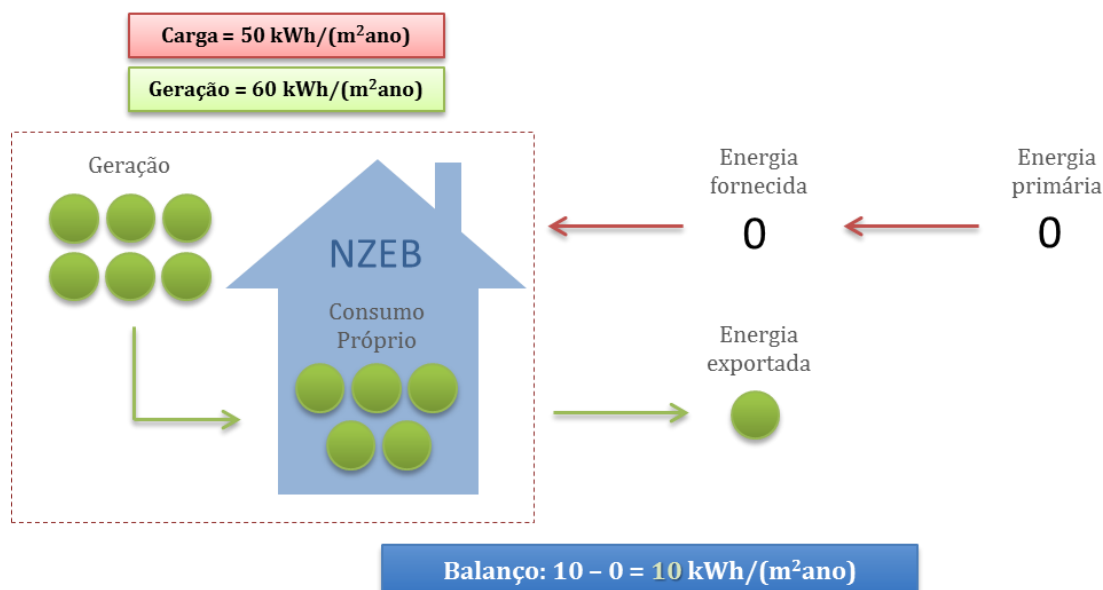


Figura 28 - Balanço líquido com ponderação assimétrica. Carga < Geração (adaptado de Bourelle et al, 2014).<sup>6</sup>

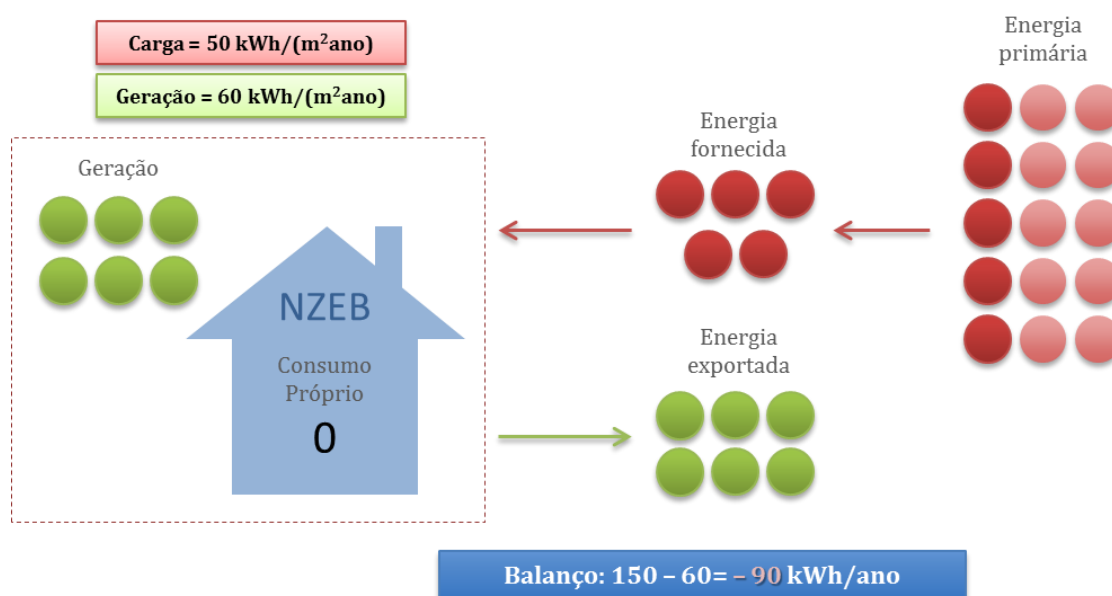


Figura 29 - Balanço carga vs geração com ponderação assimétrica. Carga < Geração (adaptado de Bourelle et al, 2014).<sup>6</sup>

Com base nos esquemas apresentados, torna-se claro que, considerando um sistema de ponderação assimétrico, é mais difícil um edifício ser classificado como NZEB com base num balanço de carga vs geração do que com base num balanço líquido. Isto porque quando o edifício utiliza energia «emprestada» pela rede tem que devolver toda a energia primária necessária à produção dessa quantidade de energia, ou seja, tal como já foi referido anteriormente, um balanço assimétrico em que a energia importada pesa mais é mais fácil de atingir quanto maior for a compatibilidade entre carga e

<sup>6</sup> Cada elemento representa 10 kWh/(m²ano).

geração. Uma vez que o balanço carga *vs* geração assume incompatibilidade total e o balanço líquido assume compatibilidade máxima, o primeiro será muito mais difícil de atingir que o segundo (daí considerar-se o cenário mais pessimista e o cenário mais otimista, respetivamente).

No entanto, é de notar que os pressupostos em que se baseiam estes dois métodos são demasiado simplistas e pouco realistas.

Por um lado, o pressuposto em que se baseia o balanço líquido é utópico: Assumir uma compatibilidade máxima entre carga e geração corresponde a assumir que para todos os instantes durante o ano inteiro, a geração excede sempre a carga (quando a geração é superior à carga) ou que em nenhuma altura do ano a geração excede a carga (quando a carga é superior à geração). Tomando como exemplo a produção energética de um painel fotovoltaico, cujo pico será atingido a meio do dia solar (quando a radiação solar é mais elevada) e será nula durante a noite (quando não há radiação solar): em Portugal, o pico de consumo energético coincide com a altura em que a população regressa às respetivas habitações, ou seja, durante o final da tarde ou início da noite. Uma vez que nessa altura a produção energética do painel fotovoltaico não é muito elevada (ou até mesmo nula durante os meses de inverno), o mais provável é que a geração não seja suficiente para cobrir toda a carga, sendo necessário recorrer a importação de energia da infraestrutura energética. Durante o dia, quando a maioria da população se encontra em atividade laboral, ocorre o período de cheia característico por consumos intermédios. Nessa altura, uma vez que a radiação solar é mais elevada, a produção energética do painel fotovoltaico será também mais elevada, pelo que a geração poderá exceder a carga e tal excesso terá que ser exportado para a rede (na ausência de sistemas de armazenamento). Embora seja vantajoso que a procura do edifício coincida com a geração dos sistemas técnicos do mesmo, de modo a maximizar o consumo-próprio e reduzir as trocas energéticas entre o edifício e a rede, é muito difícil que tal aconteça durante 100% do período (nominalmente, um ano), pelo que o cenário do balanço líquido é pouco realista.

Da mesma forma, é também muito pouco provável que os perfis de carga e de geração sejam completamente incompatíveis, como é assumido no balanço de carga *vs* geração.

O mais provável é que o balanço de energia importada *vs* energia exportada, o qual corresponde à realidade, encontrar-se-á entre os outros dois: haverá alturas em que a geração não será suficiente para suprir a carga e o edifício terá que recorrer à rede para importação da energia em falta e outras alturas em que a geração será superior à carga e o excedente será exportado.

Seguidamente, é apresentado um esquema que resume as principais características dos diferentes tipos de balanço apresentados (Figura 30).



Figura 30 - Principais características dos diferentes tipos de balanço: balanço de importação/exportação, balanço de carga/geração, balanço líquido e balanço líquido mensal.

### 5.3.3 Eficiência Energética

A «eficiência energética» é muitas vezes confundida com «poupança de energia», no entanto, estas duas expressões não são sinónimas. A poupança de energia inclui qualquer comportamento do qual resulta diretamente a utilização de uma menor quantidade de energia. A eficiência energética envolve a utilização de uma tecnologia que requer um menor consumo de energia para **realizar a mesma função**. Por exemplo, utilizar iluminação artificial durante um menor período de tempo, embora seja uma medida de poupança de energia, não é uma medida de eficiência energética: uma medida de eficiência energética seria, por exemplo, a substituição de uma lâmpada incandescente por uma lâmpada fluorescente compacta que consome menos energia elétrica para fornecer a mesma quantidade de energia luminosa. A procura energética deve ser portanto reduzida ao máximo com medidas de eficiência energética e não com medidas de poupança de energia que comprometam o bem-estar dos utilizadores.

Tal como já foi referido no capítulo 3.3, o caminho para alcançar o requisito de NZEB é dado pelo balanço entre duas ações: o aumento da eficiência energética e o aumento da oferta de energia proveniente de fontes renováveis. No entanto, os dados experimentais revelam que a prioridade deve ser dada às medidas de eficiência energética. De facto, partindo de um edifício de referência, o primeiro passo deve ser a minimização da procura através da implementação de medidas de eficiência energética adequadas, de forma a evitar que edifícios ineficientes atinjam o estatuto de NZEB devido a sistemas sobredimensionados. Por esta razão, uma definição de NZEB pode estabelecer requisitos mínimos de eficiência energética (*Sartori et al.*, 2012). Tais requisitos podem ser requisitos normativos, requisitos de desempenho energético ou uma combinação de ambos.

Os requisitos normativos aplicam-se às propriedades dos elementos da envolvente e dos sistemas técnicos dos edifícios. Por exemplo, uma definição de NZEB pode impor valores máximos para o coeficiente de transmissão térmica (*U value*) das paredes e das janelas do edifício, valores mínimos para o rendimento das caldeiras e para o COP das bombas de calor, etc.

Os requisitos de desempenho energético aplicam-se às necessidades de energia ou à procura de energia primária. Por exemplo, uma definição de NZEB pode exigir uma redução na procura energética (de 50%, por exemplo) relativamente à procura de um edifício de referência da mesma categoria.

### 5.3.4 Abastecimento Energético

Após a minimização da procura energética por meio de implementação de medidas de eficiência energética, o passo seguinte para alcançar o requisito de NZEB é o aumento da oferta de energia proveniente de fontes renováveis. Devem ser instalados no edifício sistemas de energia renovável com potência suficiente para produzir a quantidade de energia necessária para compensar a procura energética. Uma definição de NZEB pode estabelecer uma hierarquia de opções de fornecimento de energia renovável, de forma a favorecer ou prejudicar determinadas tecnologias.

Por exemplo, em *Torcellini et al.* (2006) é apresentada uma hierarquia em que as opções de abastecimento de energia renovável são priorizadas com base em três princípios: (1) processos de transporte, transmissão e conversão livres de emissões de gases com efeito de estufa e com perdas reduzidas; (2) disponibilidade durante o tempo de vida do edifício; (3) soluções escaláveis e com elevado potencial de replicação para futuros NZEB. Uma hierarquia baseada nestes princípios dá prioridade aos recursos renováveis disponíveis na área associada ao edifício em relação a opções *off-site*. Por exemplo, em Portugal, faz todo o sentido priorizar a energia solar, uma vez que é um recurso abundantemente disponível no nosso país.

Os estímulos e restrições relativamente à utilização de determinadas opções de abastecimento energético podem ser diretamente exigidas pela definição de nZEB ou podem ser uma consequência do fator de ponderação atribuído ao vetor energético em questão (ver secção 5.2.1).

## 5.4 Características de compatibilidade temporal

Tal como já foi referido anteriormente, embora seja o princípio base do conceito de NZEB, a satisfação do balanço não é suficiente para caracterizar totalmente um NZEB. A satisfação do balanço não é, por si só, uma garantia de que o edifício está projetado de forma a minimizar o seu impacto em termos de consumo energético (*Sartori et al., 2012*). Este documento foca-se em edifícios que não são independentes, ou seja, que estão conectados às redes de energia, pelo que se torna necessário garantir que os edifícios trabalhem benéficamente em relação às necessidades das redes e não coloquem “stress” adicional ao seu funcionamento. Por essa razão, é importante avaliar a interação entre o edifício e a rede de energia, ou seja, estabelecer características que reflitam a capacidade de um edifício trabalhar em sinergia com a rede. Neste documento são apresentadas duas características de compatibilidade temporal de energia, mencionadas em *Sartori et al. (2012)* e no relatório da *REHVA (2013)*: a compatibilidade de carga, que corresponde à capacidade do edifício coincidir a geração local com a própria carga do edifício, e a interação com a rede, que corresponde à capacidade do edifício de coincidir a geração local com as necessidades das redes locais. Vários indicadores têm sido propostos para avaliar estas duas características, os quais devem ser calculados para cada vetor energético separadamente. Caso o objetivo seja avaliar os efeitos sazonais, são necessários dados numa resolução mensal; para uma avaliação do efeito dos picos de carga, é necessária uma resolução mais exigente, numa base horária ou sub-horária (*Sartori et al., 2012*). É de notar que se pretende que tais indicadores sejam utilizados apenas como ferramentas de avaliação, ou seja, não existe nenhum valor positivo ou negativo inerente aos indicadores. Por exemplo, aumentar a compatibilidade de carga pode ou não ser apropriado dependendo das circunstâncias no “lado” da rede (*Sartori et al., 2012*).

### 5.4.1 Compatibilidade de carga

Tal como já foi referido anteriormente, a energia produzida localmente pode ser utilizada para cobrir as necessidades de energia dos sistemas técnicos do edifício, reduzindo assim a quantidade de energia importada para o edifício (consumo-próprio). No entanto, na ausência de armazenamento, a energia renovável produzida localmente só pode ser utilizada para consumo próprio no instante imediato da sua produção. Caso nesse instante a produção exceda a procura, o excedente de energia produzida tem que ser exportado para a rede. Os indicadores de compatibilidade de carga funcionam como quantificadores da capacidade do edifício de coincidir a geração local com a própria carga do edifício. No relatório da *REHVA (2013)* e em *Sartori et al. (2012)*, são apresentados dois indicadores de compatibilidade de carga: o índice de fração de energia renovável e o índice de compatibilidade de energia renovável.

- **Índice de Fração de Energia Renovável – REF (*Renewable Energy Fraction Index*)**

É a fração da procura (para determinado vetor energético) que é coberta por energia renovável produzida no local. Na ausência de armazenamento, é determinado pela razão entre o consumo-próprio e a procura total.

- **Índice de Compatibilidade de Energia Renovável – REM (*Renewable Energy Matching Index*)**

É a fração de energia renovável produzida no local que é utilizada como consumo-próprio. Na ausência de armazenamento, é determinado pela razão entre o consumo-próprio e a produção de energia no local.

Assim sendo, para o cálculo dos indicadores de compatibilidade de carga, é necessário conhecer os perfis de consumo e de produção local. O cálculo de tais indicadores é bastante sensível à resolução



temporal considerada. Por exemplo, estudos indicam que, considerando uma base mensal, semanal ou diária, um sistema fotovoltaico consegue obter um índice de compatibilidade de carga (REF) na ordem dos 60% a 80% (REHVA, 2013; Voss *et al.*, 2010; Widen *et al.*, 2009). No entanto, considerando uma resolução de dados horária ou sub-horária, os valores já se encontram na ordem dos 30%, sendo que tal redução se deve essencialmente a picos de carga e à completa dependência da rede durante a noite, quando não há radiação).

Caso o objetivo seja apenas avaliar os efeitos sazonais, uma resolução mensal é suficiente. Tal análise fornece o mesmo tipo de informação que o balanço mensal líquido (ver secção 5.3.2. Tipo de balanço) mas de forma mais completa, uma vez que diferencia os vetores energéticos e não é distorcida pelo sistema de ponderação. Para uma avaliação do efeito dos picos de carga, é necessária uma resolução mais exigente, numa base horária ou sub-horária.

É de notar que os índices de compatibilidade de carga permitem a distinção entre edifícios que são classificados como NZEB devido a um consumo-próprio elevado ou à utilização da rede como forma de armazenamento. É de notar que, desta forma, edifícios com um indicador de compatibilidade carga elevado serão beneficiados numa análise com base num balanço de *payback* (ver secção 5.2.3b) Sistema de ponderação assimétrico).

#### 5.4.2 Interação com a rede

Vários indicadores têm sido propostos com o objetivo de analisar a interação entre os edifícios e as redes energéticas, tanto do ponto de vista do edifício como da perspetiva da rede (Sartori *et al.*, 2012).

Um indicador do ponto de vista do edifício é apresentado em Sartori *et al.* (2012) e no relatório da REHVA (2013): o índice de interação com a rede (*grid interaction index*). O índice representa a variabilidade da interação entre o edifício e a rede, sendo determinado através do cálculo do desvio-padrão da exportação líquida (diferença entre a energia exportada e a energia importada), normalizada pelo valor absoluto mais elevado. É de notar que o índice avalia apenas a variabilidade da interação, não quantifica os fluxos energéticos trocados entre a rede e o edifício. Um edifício em que a exportação (ou importação) de energia é quase constante é caracterizado por um índice de interação com a rede muito reduzido. Por outro lado, quando as flutuações são muito elevadas, ou seja, quando em determinadas alturas exportação líquida é muito elevada e noutras alturas é muito reduzida, o valor do índice será muito elevado.

Um indicador do ponto de vista da rede é a flexibilidade da interação com a rede (*grid interaction flexibility*), que consiste na capacidade do edifício de coincidir a geração local com as necessidades das redes locais (índice relacionado com o conceito de redes inteligentes). Para determinar tal índice, é necessário não só conhecer o perfil de geração local (do “lado” do edifício) como também conhecer determinadas informações do “lado” da rede, como por exemplo, as alturas em que existe défice de energia na rede.

## 6. Fator de energia primária

Tal como já foi referido anteriormente, a classificação por energia primária é obrigatória segundo a reformulação do EPBD (2010), a qual é determinada em função de fatores de energia primária por vetor energético. Assim sendo, o algoritmo utilizado para a determinação dos fatores de energia primária condiciona a avaliação do desempenho energético de um edifício e, consequentemente, o cumprimento do requisito de NZEB. Assim sendo, o fator de energia primária torna-se bastante importante no âmbito do tema do presente documento.

### 6.1 Definição de fator de energia primária

Tal como já foi referido anteriormente na secção 5.2.1.a), o fator de energia primária deve traduzir a razão entre a energia fornecida ao edifício e a energia primária total necessária para a rede fornecer essa mesma energia, tendo em conta as perdas de toda a cadeia energética (*Bourelle et al.*, 2013). De acordo com a EN 15603:2008, no cálculo do fator de energia primária devem ser tidas em conta, pelo menos:

- Energia necessária à extração do vetor energético primário;
- Energia necessária para transportar o vetor energético do local de produção até ao local de utilização;
- Energia utilizada no processamento, armazenamento, geração, transmissão, distribuição e quaisquer outras operações necessárias para entregar a energia final ao edifício.

O fator pode também incluir, embora não seja obrigatório:

- Energia utilizada na construção das unidades de transformação;
- Energia utilizada na construção do sistema de transporte;
- Energia utilizada na limpeza e escoamento de resíduos.

A EN 15603:2008 apresenta duas convenções para definir o fator de energia primária:

- **Fator de energia primária total:**

Nesta versão é contabilizada toda a energia despendida para entregar a energia ao ponto de utilização, incluindo a energia proveniente de fontes renováveis. Consequentemente, o fator de energia primária total excede sempre a unidade.

- **Fator de energia primária não-renovável:**

Nesta versão é excluída a componente de energia proveniente de fontes renováveis. A porção de origem renovável da energia entregue é considerada como contribuição nula para a utilização de energia primária. Consequentemente, para um vetor energético renovável, o fator de energia primária não-renovável é inferior à unidade (idealmente zero).

É de notar que se o objetivo principal da análise for expressar a utilização de combustíveis fósseis ou outras fontes de energia não-renováveis poluentes, deve ser utilizado o fator de energia primária não-renovável. De facto, os fatores de energia primária utilizados no cálculo do indicador de energia primária são, por definição, **fatores de energia primária não-renovável** (REHVA, 2013).

## 6.2 Fatores de energia primária: Valores globais (União Europeia)

A norma 15603:2008 apresenta uma tabela com exemplos de valores para os fatores de energia primária para diferentes vetores energéticos, a qual é apresentada de seguida (ver Tabela 3). Os fatores apresentados na tabela incluem a energia necessária à construção dos sistemas de transformação e transporte.

Tabela 3 - Fatores de energia primária recomendados pela EN 15603 (adaptado de 15603:2008, Anexo E).

		Fatores de energia primária	
		Não-renovável	Total
Petróleo		1,35	1,35
Gás natural		1,36	1,36
Carvão	Antracito	1,19	1,19
	Linhito	1,40	1,40
	Hulha	1,53	1,53
Madeira	Aglomerados	0,06	1,06
	Madeira	0,09	1,09
	Faia	0,07	1,07
	Abeto	0,10	1,10
Eletricidade	Centrais hidroelétricas	0,50	1,50
	Centrais nucleares	2,80	2,80
	Centrais termoeleétricas	4,05	4,05
	Mix UCPTE	3,14	3,31

O valor referente ao *mix* UCPTE é o fator de energia primária calculado com base no *mix* de produção de energia elétrica da União Europeia como um todo. É de notar que estes valores diferem dos valores propostos por outros documentos oficiais da União Europeia: por exemplo, o Anexo da Diretiva dos Serviços Energéticos recomenda um fator de energia primária para a energia elétrica de 2.5 para todos os Estados-Membros. Esta discrepância pode ser devida à decisão relativamente à inclusão das perdas de energia que não são obrigatórias (energia utilizada na construção dos sistemas de transformação e transporte e na limpeza e escoamento de resíduos).

É de notar que os valores apresentados pelos documentos oficiais da União Europeia, incluindo a EN 15603, são apenas informativos, não existindo qualquer obrigação relativamente à sua utilização. De facto, cada Estado-Membro tem o seu próprio *mix* energético, pelo que faz sentido que os fatores de energia primária sejam definidos a nível nacional. É referido na EN 15603 que à própria norma podem ser acrescentados anexos nacionais apresentando tabelas com valores representativos das condições locais de geração de energia elétrica e fornecimento de combustíveis. Também a Diretiva EPBD afirma que cada Estado-Membro pode determinar os seus próprios fatores de energia primária com base nos valores anuais médios a nível nacional ou regional:

#### Reformulação do EPBD, 2010 (Anexo I):

“O desempenho energético de um edifício é expresso de modo transparente e inclui um indicador de desempenho energético, bem como o indicador numérico de utilização de energia primária, em função de **fatores de energia primária por vetor energético, podendo tomar-se como base as médias anuais ponderadas, nacionais ou regionais, ou um valor específico para a produção *in situ***”.

Na secção 6.3 são apresentados os fatores de energia primária utilizados por diferentes Estados-Membros para a energia elétrica, uma vez que o *mix* de produção de energia elétrica é aquele em que os Estados-Membros mais diferem, devido aos diferentes valores de quota-parte de renováveis.

É de notar que os valores apresentados na Tabela 3 são fatores de energia primária para a energia entregue aos edifícios pela infraestrutura energética, ou seja, para a energia importada. Em relação ao fator de energia primária para a energia produzida localmente (*on-site*), ou seja, para a energia exportada, cada Estado-Membro pode optar por utilizar o valor igual ao do fator para a energia importada ou determinar um valor específico para a produção *on-site* (ver secção 5.2.3). Caso não seja documentada informação contrária, assume-se que o Estado-Membro optou por não diferenciar o fator de energia primária para a energia entregue ao edifício e a energia por este produzida (REHVA, 2013).

É também importante salientar que os fatores de energia primária não são constantes, ou seja, podem variar significativamente ao longo do tempo. Neste âmbito, é necessário destacar o fator de energia primária para a energia elétrica: devido à constante evolução do sistema electroprodutor consequente da evolução de quota-parte de renováveis no *mix* energético, o fator de energia primária para a energia elétrica sofre alterações, pelo que deve ser objeto de revisão regular, no máximo a cada cinco anos (Ecofys, 2011).

### 6.3 Fatores de energia primária: Valores nacionais

Tal como já foi referido anteriormente, a norma EN 15603 e a diretiva EPBD referem que cada Estado-Membro pode determinar os seus próprios fatores de energia primária com base no seu *mix* energético. A Ecofys redigiu um relatório no âmbito do tema “Fatores de energia primária para a eletricidade em edifícios” (2011), no qual apresentou uma tabela com os fatores para a energia elétrica utilizados em diferentes Estados-Membros na União Europeia. A tabela é apresentada de seguida, à qual foi acrescentada o valor utilizado em Portugal, segundo o Despacho n.º 15793-D/2013.

Tabela 4 - Fator de energia primária para a energia elétrica em diferentes Estados-Membros (adaptado do relatório *Primary energy factors for electricity in buildings* da Ecofys, 2011).

	Alemanha	Espanha	França	Holanda	Polónia	Portugal	Reino Unido	Suécia
Fator de energia primária (eletricidade)	2,6	2,6	2,58	2,56	3	2,5	2,92	2

A norma EN 15603 afirma explicitamente que aquando a definição a nível nacional dos fatores de energia primária, deve ser documentado o algoritmo utilizado. No entanto, a maioria dos Estados-Membros não cumpre o que é estabelecido pela norma, não documentando nas suas normas nacionais as decisões tomadas na determinação dos fatores. A *Ecofys* tentou determinar o algoritmo utilizado pelos Estados-Membros analisados e a mesma análise foi realizada no presente documento para o caso de Portugal (ver capítulo 6.4).

#### 6.4 Algoritmo para determinação do fator de energia primária para a eletricidade em diferentes Estados-Membros

Os fatores de energia primária para a produção de energia elétrica dependem de vários fatores, como por exemplo: a contabilização (ou não) das perdas *upstream*, que correspondem às perdas associadas à extração de combustíveis fósseis; a contabilização (ou não) das perdas *downstream*, que correspondem às perdas de energia nos processos de distribuição e transmissão; o fator utilizado para contabilização da energia de origem renovável; a fração de energia primária que é atribuída à eletricidade na cogeração; o *mix* energético considerado; etc. (*Ecofys*, 2011). Uma vez que não existe uma abordagem uniformizada a nível europeu de como determinar o fator de energia primária, cada Estado-Membro faz as suas próprias opções, opções estas que na maioria das vezes não são documentadas nas normas nacionais. Embora na norma EN15603 seja referido explicitamente que quaisquer documentos que definam fatores de energia primária devem apresentar de forma explícita o algoritmo utilizado, a maioria dos Estados-Membros não o faz.

A *Ecofys* apresentou uma tabela no seu relatório de 2011 com o algoritmo utilizado para a determinação do fator de energia primária para a energia elétrica em diferentes Estados-Membros. O relatório dá ênfase à dificuldade sentida na pesquisa de dados relevantes para a construção da tabela: A *Ecofys* examinou normas e outros documentos nacionais relevantes mas na maioria dos casos a informação dada em tais documentos é escassa ou pouco clara, tendo sido necessários esforços adicionais, incluindo o contacto pessoal com indivíduos e outras organizações.

Uma vez que Portugal não consta na tabela apresentada pela *Ecofys*, foi analisado o caso de Portugal no presente documento, de modo a acrescentar uma nova coluna à tabela. A Tabela 5 é uma adaptação da tabela apresentada pela *Ecofys*, à qual foi já adicionada a coluna referente a Portugal, cujos dados foram calculados no presente documento. De seguida, é explicado em que consistem os valores de cada linha da Tabela 5.

Tabela 5 - Algoritmo utilizado para determinação do fator de energia primária para a energia elétrica em diferentes Estados-Membros (adaptado do relatório *Primary energy factors for electricity in buildings* da *Ecofys*, 2011).

	Alemanha	Espanha	França	Holanda	Polónia	Portugal	Reino Unido	Suécia
%RE	10,3%	22,3%	12,8%	4,2%	2,7%	53,8%	4,7%	50,2%
$f_{el}^p$	2,6	2,6	2,58	2,56	3	2,5	2,92	2
$f_{el}^{p,ren}$ (RE=0)	2,54	1,78	2,63	2,30	3,23	1,01	2,43	1,60
$f_{el}^p$ (RE=1)	2,65	2,01	2,77	2,35	3,26	1,76	2,48	2,14
Fator político?	Não		Sim	Sim		Sim		Sim
Fator RE	Não é claro	>0	Não é claro	>0	Não é claro	>0	>0	>0
Perdas <i>upstream</i> ?	Não	Sim		Não	Sim	Não	Sim	Não

Perdas downstream?	Sim	Sim		Sim	Sim	Não	Sim	
Produção RE e Consumo próprio	Deduzido da procura	Deduzido da procura	Deduzido da procura	Deduzido da procura		Deduzido da procura	Deduzido da procura	
Produção RE e Energia Exportada				2			2,92	

**%RE:** Quota-parte de renováveis no *mix* energético para produção de eletricidade.

Este valor corresponde à percentagem de produção de energia elétrica que é de origem renovável. No caso de Portugal, este valor foi calculado para cada ano entre 1990 e 2012 (inclusive), com base nos dados disponibilizados pela IEA (ver Anexo II).

Uma vez que não é explicitado no relatório da *Ecofys* o ano para o qual os valores da tabela foram determinados, assumiu-se que correspondem a dados de 2010, uma vez que o relatório foi publicado em 2010. Assim sendo, por uma questão de coerência, os valores referentes a Portugal apresentados na Tabela 5 são de 2010.

Segundo a *Ecofys*, os únicos Estados-Membros referidos na tabela que apresentam uma quota-parte de renováveis suficientemente elevada para influenciar significativamente o fator de energia primária são a Espanha e a Suécia. Como se verifica na Tabela 5, Portugal apresenta uma quota-parte de renováveis no seu *mix* energético semelhante à da Suécia, pelo que se conclui que no caso de Portugal, a quota-parte de renováveis também é suficientemente elevada para influenciar o fator de energia primária.

**$f_{el}^P$ :** Fator de energia primária para a eletricidade utilizado no Estado-Membro.

Este valor corresponde àquele que é apresentado nas normas nacionais como o valor a ser utilizado na avaliação de desempenho energético de edifícios. Tal como já foi referido anteriormente, nem sempre este fator deriva de argumentos exclusivamente científicos, incluindo muitas vezes considerações de natureza política ou económica.

O valor utilizado em Portugal é 2.5, o qual é apresentado no Despacho n.º15793-D/2013.

As duas linhas seguintes da tabela correspondem a valores calculados pelos autores do relatório da *Ecofys*, que correspondem aos valores do fator de energia primária caso este fosse determinado com base em argumentos exclusivamente científicos:

**$f_{el}^P (RE=0)$ :** Fator de energia primária calculado utilizando um fator para a energia de origem renovável igual a 0. Corresponde ao fator de energia primária não-renovável, no qual, tal como já foi referido anteriormente, é excluída a componente de energia proveniente de fontes renováveis, ou seja, a energia de origem renovável é considerada como contribuição nula para a utilização de energia primária.

**$f_{el}^P (RE=1)$ :** Fator de energia primária calculado utilizando um fator para a energia de origem renovável igual a 1.

Para o caso de Portugal, estes valores foram calculados para cada ano entre 1990 e 2013 (inclusive), com base nos dados disponibilizados pela DGEG. O algoritmo utilizado e a respetiva tabela com os resultados finais são apresentados Anexo II. De forma semelhante ao que foi referido relativamente à quota-parte de renováveis, os valores referentes a Portugal apresentados na Tabela 5 são de 2010, por uma questão de coerência em relação aos valores para os restantes Estados-Membros.

**Fator político?:** Comentário de como o fator de energia primária é determinado: se é determinado com base em argumentos exclusivamente científicos ou se tem em conta considerações de outra natureza, nomeadamente política ou económica.

Segundo a *Ecofys* foram encontradas indicações claras de que os fatores de energia primária utilizados pela França, Holanda e Suécia não derivam puramente de argumentos científicos, sendo que o algoritmo utilizado por estes Estados-Membros não é claro.

Para o caso de Portugal, o algoritmo utilizado para determinação do fator de energia primária para a energia elétrica também não é documentado em qualquer norma nacional. Supõe-se que o valor 2,5 é obtido através da razão 1/0,4, sendo 40% o rendimento médio de uma central termoeleétrica a gás natural. Nesse caso, considera-se que toda a eletricidade é produzida por centrais termoeleétricas, desprezando o facto de parte da produção de energia elétrica ser de origem renovável. Num país como Portugal, em que a quota-parte de renováveis é bastante elevada, isto tem como consequência a utilização de um valor bastante superior ao esperado. De facto, no Despacho 15793-D/2013 é explicitado que deve ser utilizado o valor 2,5 para toda a eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não-renovável), o que leva a crer que a utilização deste valor não deriva apenas de argumentos científicos, sendo uma decisão baseada em considerações de natureza política.

**Fator RE:** Fator efetivamente utilizado para contabilização de energia de origem renovável.

Segundo a *Ecofys*, não foi possível determinar de forma clara este fator, especialmente para os Estados-Membros em que o fator é resultado de um processo político e não exclusivamente de cálculos científicos. Tal como já foi referido anteriormente, segundo o relatório da *REHVA* o fator de energia primária utilizado aquando a avaliação do desempenho energético de edifícios deve ser o fator de energia primária não-renovável. No entanto, segundo o relatório da *Ecofys*, a maioria dos países contabiliza a eletricidade de origem renovável com um fator diferente de zero, apesar de não ser claro qual o valor efetivamente utilizado. Apenas nos casos da Holanda e da Espanha foram encontrados documentos de agências governamentais que referenciam este fator: embora não apresentem o valor efetivamente utilizado, referenciam que tal valor é superior a zero. No entanto, a análise dos valores da tabela sugere que também na Suécia e no Reino Unido a energia de origem renovável é contabilizada com o fator superior a zero, uma vez que o fator de energia primária efetivamente utilizado é bastante superior ao fator de energia primária calculado utilizando um fator nulo para as renováveis. O mesmo acontece no caso de Portugal, o que sugere que o fator utilizado para as renováveis é superior a zero.

**Perdas upstream:** Indicação relativamente à contabilização ou não das perdas *upstream*, que consistem nas perdas associadas à extração de combustíveis.

Tal como já foi referido anteriormente, a norma EN15603 afirma que a energia utilizada na extração do vetor de energia primária deve ser contabilizada aquando do cálculo do fator de energia primária. No entanto, nem todos os Estados-Membros cumprem a norma, como se verifica na Tabela 5. Embora esta informação não seja apresentada de forma explícita nas normas nacionais, os autores do relatório da *Ecofys* deduziram tal informação com base nos valores do fator de energia primária para os combustíveis fósseis: quando o fator de energia primária para os combustíveis é igual 1, significa que as perdas *upstream* não foram contabilizadas, pelo que é deduzido que para o cálculo do fator de energia primária para a eletricidade também não o são.

Uma vez que o fator de energia primária utilizado em Portugal para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não-renováveis é igual a 1 (Despacho n.º 15793-D/2013), deduz-se que o fator de energia primária para a eletricidade também não tem em conta as perdas *upstream*.



**Perdas *downstream*:** Indicação relativamente à contabilização ou não das perdas *downstream*, que consistem nas perdas de energia nos processos de transmissão e distribuição.

Uma vez que o fator de energia primária utilizado em Portugal para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não-renováveis é igual a 1, significa que tais perdas não são contabilizadas, deduzindo-se que o fator de energia primária para a eletricidade também não contabiliza tais perdas, por uma questão de coerência.

Os valores e comentários até agora apresentados referem-se ao fator de energia primária para a eletricidade da infraestrutura energética, o qual, tal como já foi referido anteriormente, pode ou não ser igual à fator de energia primária para a eletricidade produzida localmente. As duas últimas linhas referenciam como a energia renovável produzida no local é tratada:

**Produção RE e Consumo Próprio:** Indicação de como é calculado o consumo próprio, que consiste na quantidade de energia renovável produzida localmente que é consumida no local.

Na maioria dos Estados-Membros, a eletricidade de origem renovável produzida localmente pode ser diretamente deduzida da procura de energia elétrica. Caso a produção local exceda a procura, considera-se que o excedente de energia é exportado. É de notar que ao deduzir a produção de renováveis da procura, está a assumir-se que a compatibilidade entre a carga e a geração é de 100%, o que muito provavelmente não é verdade (ver secção 5.3.2.c).

**Produção RE e Energia Exportada:** Fator de energia primária utilizado para a energia exportada.

A maioria dos Estados-Membros opta por utilizar o mesmo fator de energia primária para a energia importada e para a energia exportada (ver secção 5.2.3).

Dos Estados-Membros analisados pela *Ecofys*, apenas a Holanda diferencia os fatores de energia primária para a energia importada da rede e para a energia renovável exportada.

## 6.5 Determinação do fator de energia primária para a eletricidade em Portugal

Tal como já foi referido anteriormente, tudo indica que a utilização do valor 2.5 para o fator de energia primária para a energia elétrica não deriva apenas de argumentos científicos, sendo uma decisão baseada em considerações de natureza política.

Assim sendo, foram realizados os cálculos para determinar qual seria o fator de energia primária para a eletricidade em Portugal com base em argumentos científicos, sem quaisquer considerações de outra natureza (política ou económica). Os cálculos foram realizados separadamente para cada ano, entre 1990 e 2013, uma vez que, tal como já foi referido, o fator de energia primária é bastante variável no tempo devido à constante evolução do sistema electroprodutor. Seguidamente, é apresentado o algoritmo utilizado para determinação do fator de energia primária para a eletricidade.



A Figura 31 representa a área local de interesse, que neste caso é Portugal, na qual existem unidades de produção de energia elétrica e térmica separadamente e unidades de cogeração que produzem simultaneamente energia elétrica e térmica. O fator de energia primária médio para a energia elétrica produzida por centrais que servem a área local de interesse<sup>7</sup> é determinado a partir de:

$$f_{el} = \frac{\sum_i f_{el,sep,i} E_{el,sep,i} + f_{el,chp} E_{el,chp}}{\sum_i E_{el,sep,i} + E_{el,chp}} = \frac{f_{el,sep} E_{el,sep} + f_{el,chp} E_{el,chp}}{E_{el,sep} + E_{el,chp}} \quad (19)$$

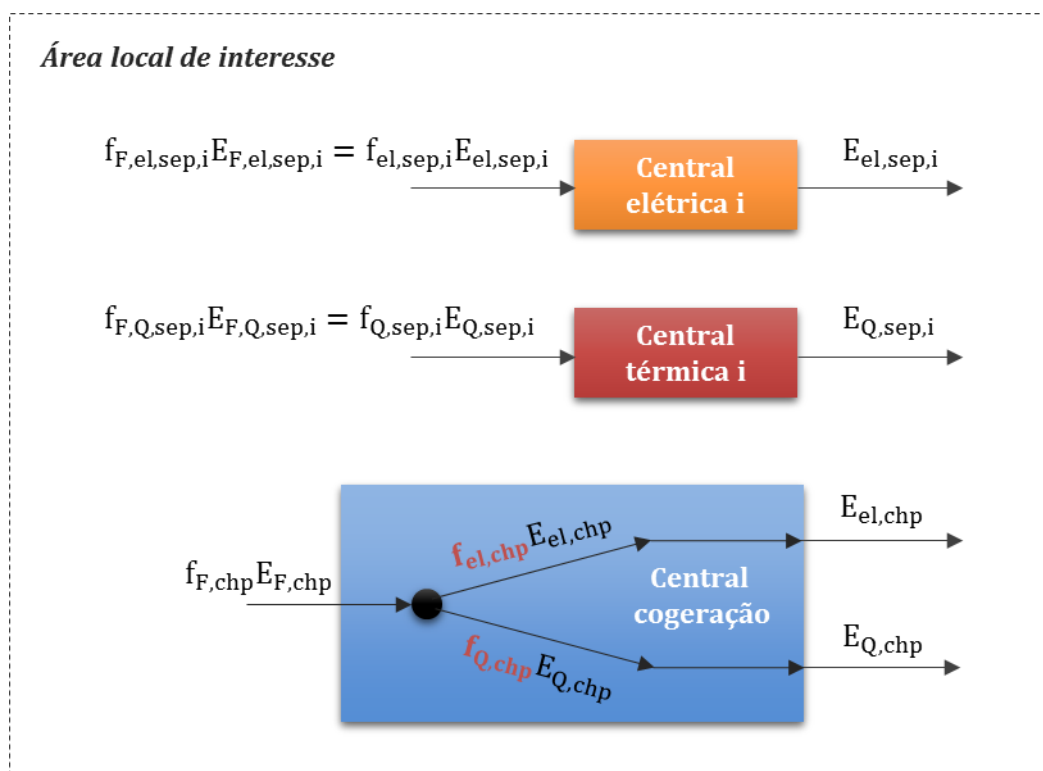


Figura 31 - Representação esquemática da área local de interesse com unidades de produção de energia elétrica e térmica em separado e uma unidade de cogeração (adaptado de Beretta et al, 2012).

Na Tabela 6 estão registados os valores que têm que ser calculados e o capítulo no qual a metodologia utilizada para o seu cálculo é apresentada.

É importante salientar que os fatores de energia primária para a produção de energia térmica (através de cogeração e através de produção em separado) são calculados pois são necessários para determinar o fator de energia primária para a eletricidade produzida através de cogeração, como se verificará mais à frente.

<sup>7</sup> O fator de energia primária é indicado, nos capítulos anteriores, através da simbologia  $f^P$ . No entanto, uma vez que neste capítulo todos os fatores de ponderação referem-se a energia primária, optou-se por não utilizar o índice  $p$  (superior à linha) por uma questão de simplificação, devido a toda a nomenclatura já bastante complicada utilizada neste capítulo.

Tabela 6 - Valores a calcular para determinação do fator de energia primária para a energia elétrica em Portugal

$E_{el,sep}$	Energia elétrica produzida separadamente	Capítulo 6.5.1
$E_{el,chp}$	Energia elétrica produzida através de cogeração	
$E_{Q,sep}$	Energia térmica produzida separadamente	
$E_{Q,chp}$	Energia térmica produzida através de cogeração	
$f_{el,sep}$	Fator de energia primária para a produção de energia elétrica separadamente	Capítulo 6.5.2
$f_{Q,sep}$	Fator de energia primária para a produção de energia térmica separadamente	
$f_{el,chp}$	Fator de energia primária para a produção de energia elétrica através de cogeração	Capítulo 6.5.3d)
$f_{Q,chp}$	Fator de energia primária para a produção de energia térmica através de cogeração	
$f_{el,loc}$	<b>Fator de energia primária global para a produção de energia elétrica</b>	Capítulo 6.5.4

### 6.5.1 Algoritmo para o cálculo da produção líquida de energia elétrica e térmica em Portugal

Para efeitos de cálculo da produção líquida de energia elétrica e energia térmica, foram recolhidos dados do *website* da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG): foram analisados os balanços energéticos anuais disponibilizados pela DGEG entre os anos de 1990 e 2013 e foram recolhidos e tratados os dados relevantes para os cálculos. Os dados da DGEG são apresentados em tep (toneladas equivalentes de petróleo), no entanto, foi feita a conversão para GWh. Assim sendo, a Tabela 7 apresenta os valores referentes ao ano de 2013 em GWh por ano. As células mais claras contêm dados recolhidos diretamente das tabelas disponibilizadas pela DGEG. As células mais escuras contêm valores calculados a partir dos dados fornecidos. O algoritmo utilizado para determinar tais valores é explicado seguidamente. Na coluna da direita é indicado o número da equação que foi utilizada para determinar o valor da linha correspondente. O mesmo método foi utilizado para os anos de 1990 a 2012, sendo que a tabela completa é apresentada no Anexo II.

Em geral, o consumo total de combustíveis na produção de energia é dado pela soma entre o consumo de combustíveis fósseis e o consumo de combustíveis renováveis:

$$E_{F,i} = E_{Ff,i} + E_{Fren,i} \quad (20)$$

A DGEG disponibiliza os valores de produção bruta de energia elétrica. No entanto, parte dessa energia é utilizada na própria produção de energia e outra parte é ainda dissipada nos processos de distribuição e transporte. Assim sendo, de uma forma geral, produção líquida de energia elétrica é dada por:

$$E_{el,i} = E_{el,bruta,i} - E_{cp,el,i} - \alpha_{d\&t} E_{el,bruta,i} \quad (21)$$

em que  $E_{el,bruta}$  é a produção de energia elétrica bruta (valor fornecido pela DGEG),  $E_{cp,el}$  é o consumo próprio da produção de energia elétrica e  $\alpha_{d\&t}$  é o coeficiente de perdas de distribuição e transporte, calculado a partir da equação (22):

$$\alpha_{d\&t} = \frac{E_{d\&t,el,tot}}{E_{el,tot}} \quad (22)$$

No caso específico da produção convencional de energia elétrica, a DGEG não disponibiliza explicitamente os valores de consumo próprio na produção de energia. Assim sendo, o consumo próprio na produção convencional de energia elétrica foi calculado da seguinte forma:

$$E_{cp,el,conv} = E_{cSE,el,tot} - E_{d\&t,el,tot} - E_{cp,el,ren} - E_{cp,el,chp} \quad (23)$$

em que  $E_{cSE,el,tot}$  é o consumo total do sector energético, que inclui o consumo próprio na produção de energia e as perdas de distribuição e transporte.

Para este caso em específico, as unidades de produção de eletricidade em separado são as centrais termoelétricas convencionais e os sistemas de energia renovável. Assim sendo, considerando um fator para a energia de origem renovável igual a 1, o consumo de combustíveis na produção de energia elétrica separadamente é dado por:

$$E_{F,el,sep} = \sum_i E_{F,el,sep,i} = E_{F,el,conv} + E_{el,ren,bruta} \quad (24)$$

e a produção líquida de energia elétrica separadamente é dada por:

$$E_{el,sep} = \sum_i E_{el,sep,i} = \sum_i E_{el,conv} + E_{el,ren} \quad (25)$$

Em relação à cogeração, a DGEG disponibiliza os valores de produção bruta de energia térmica e elétrica a partir de cogeração. Assim sendo, a energia elétrica disponível é determinada a partir da equação (21) e a energia térmica é determinada a partir de:

$$E_{Q,chp} = E_{Q,bruta,chp} - E_{cp,Q,chp} \quad (26)$$

Neste caso, à produção bruta de energia é apenas subtraído o consumo próprio da produção de energia, isto porque a produção de energia térmica é realizada localmente, ou seja, a energia produzida é utilizada no próprio local, pelo que as perdas de distribuição e transporte são desprezáveis. Existem redes urbanas de aquecimento e arrefecimento mas, tal como já foi referido anteriormente, não são muito utilizadas em Portugal, pelo que é uma aproximação bastante razoável considerar que a produção de energia térmica é consumida localmente.

Em relação à produção de energia térmica em separado (sem CHP), a DGEG não disponibiliza os valores explicitamente. Assim sendo, foi feita uma estimativa a partir dos valores de consumo de combustíveis no sector da indústria e dos edifícios. A partir desses valores, estimou-se o calor que seria produzido localmente através de caldeiras com uma eficiência média de 80%, ou seja:

$$\begin{aligned} E_{Q,sep} &= \eta_{caldeira}(E_{F,Q,ind} + E_{F,Q,edif}) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow E_{Q,sep} = \eta_{caldeira} E_{F,Q,sep} \end{aligned} \quad (27)$$

Este cálculo da produção de energia térmica em separado é uma estimativa grosseira, no entanto, um estudo de sensibilidade a este fator revela que tem pouco impacto no resultado final.

Assim sendo, a produção líquida total de energia elétrica e de energia térmica é dada pelas seguintes equações, respetivamente:

$$E_{el,tot} = \sum_i E_{el,sep,i} + E_{el,chp} \quad (28)$$

$$E_{Q,tot} = \sum_i E_{Q,sep,i} + E_{Q,chp} \quad (29)$$

Tabela 7 – Cálculo da produção total líquida de energia elétrica e energia térmica em Portugal, com base nos dados da DGEG, para o ano de 2013.

**Produção de energia elétrica: Convencional [GWh/ano]**

$E_{Ff,el,conv}$	Consumo de combustíveis fósseis	3 125 670	
$E_{Fren,el,conv}$	Consumo de combustíveis renováveis	521 969	
$E_{F,el,conv}$	Consumo de combustíveis (total)	3 647 639	(20)
$E_{el,conv,bruta}$	Produção bruta de energia elétrica	1 380 090	
$E_{cp,el,conv}$	Consumo próprio na produção de energia elétrica	124 038	(23)
$E_{el,conv}$	Produção líquida de energia elétrica	1 109 006	(21)

**Produção de energia elétrica: Renováveis [GWh/ano]**

$E_{el,ren,bruta}$	Produção bruta de energia elétrica	2 369 495	
$E_{cp,el,ren}$	Consumo próprio na produção de energia elétrica	125 431	
$E_{el,ren}$	Produção líquida de energia elétrica	1 991 599	(21)

**Produção de energia elétrica em separado: Convencional + Renováveis [GWh/ano]**

$E_{F,el,sep}$	Consumo de combustíveis	6 017 134	(24)
$E_{el,sep}$	Produção líquida de energia elétrica	<b>3 100 605</b>	(25)

**Cogeração [GWh/ano]**

$E_{Ff,chp}$	Consumo de combustíveis fósseis	1 701 109	
$E_{Fren,chp}$	Consumo de combustíveis renováveis	1 140 804	
$E_{F,chp}$	Consumo de combustíveis (total)	2 841 913	(20)
$E_{el,chp,bruta}$	Produção bruta de energia elétrica	695 076	
$E_{cp,el,chp}$	Consumo próprio na produção de energia elétrica	71 756	
$E_{el,chp}$	Produção líquida de energia elétrica	<b>549 261</b>	(21)
$E_{Q,chp,bruta}$	Produção bruta de energia térmica	1 634 002	
$E_{cp,Q,chp}$	Consumo próprio na produção de energia térmica	263 692	
$E_{Q,chp}$	Produção líquida de energia térmica	<b>1 370 310</b>	(26)

**Produção de energia térmica separadamente [GWh/ano]**

$E_{Ff,Q,ind}$	Consumo de combustíveis fósseis no sector industrial	1 577 329	
$E_{Fren,Q,ind}$	Consumo de combustíveis renováveis no sector industrial	124 842	
$E_{F,Q,ind}$	Consumo de combustíveis no sector industrial	1 702 171	(20)
$E_{Ff,Q,edif}$	Consumo de combustíveis fósseis no sector dos edifícios	1 120 870	
$E_{Fren,Q,edif}$	Consumo de combustíveis renováveis no sector dos edifícios	877 886	
$E_{F,Q,edif}$	Consumo de combustíveis no sector dos edifícios	1 998 756	(20)
$E_{F,Q,sep}$	Consumo de combustíveis (total)	3 700 927	

$E_{Q,sep}$	Produção líquida de energia térmica	2 960 742	(27)
-------------	-------------------------------------	-----------	------

**Produção de energia elétrica: Total**

$E_{cpSE,el,tot}$	Consumo do sector energético	794 795	
$E_{d\&t,el,tot}$	Perdas de distribuição e transporte	473 570	
$\alpha_{d\&t}$	Coefficiente de perdas de distribuição e transporte	0,11	(22)
$E_{el,bruta,tot}$	Produção bruta de energia elétrica TOTAL	4 444 661	
$E_{el,tot}$	Produção líquida de energia elétrica TOTAL	3 649 866	(28)

**Produção de energia térmica: Total**

$E_{Q,bruta,tot}$	Produção bruta de energia térmica TOTAL	4 594 744	
$E_{Q,tot}$	Produção líquida de energia térmica TOTAL	4 331 052	(29)

### 6.5.2 Algoritmo para o cálculo do fator de energia primária para a energia elétrica e a energia térmica produzidas separadamente

O fator de energia primária para a eletricidade produzida separadamente é dado por:

$$f_{el,sep} = \frac{\sum_i E_{F,el,sep,i}}{\sum_i E_{el,sep,i}} \quad (30)$$

Tal como já foi referido anteriormente, para este caso de estudo em específico, as unidades de produção de eletricidade em separado são as centrais termoeletricas convencionais e os sistemas de energia renovável. Assim sendo, considerando um fator para a energia de origem renovável igual a 1, a equação (30) pode escrever-se:

$$f_{el,sep} = \frac{E_{F,el,conv} + E_{el,ren,bruta}}{E_{el,conv} + E_{el,ren}} = \frac{E_{F,el,sep}}{E_{el,sep}} \quad (31)$$

Considerando um fator para a energia de origem renovável igual a 0, obtém-se o fator de energia primária não-renovável:

$$f_{el,sep}^{nren} = \frac{E_{Ff,el,conv}}{E_{el,conv} + E_{el,ren}} = \frac{E_{Ff,el,conv}}{E_{el,sep}} \quad (32)$$

É de notar que os fatores com índice «nren» são fatores de energia primária não-renovável, ou seja, são determinados considerando um fator para a energia de origem renovável igual a 0. Os fatores sem este índice são fatores de energia primária totais e são determinados considerando que o fator para a energia de origem renovável é igual a 1.

Em relação à produção de energia térmica em separado, tal como já foi referido anteriormente, a DGEG não disponibiliza valores que permitam determinar o fator de energia primária de forma exata. Assim sendo, estimou-se que a produção local de energia térmica é realizada através de cadeiras com uma eficiência média de 80%, pelo que o fator de energia primária para a energia térmica produzida separadamente é dado por:

$$f_{Q,sep} = \frac{1}{\eta_{caldeira}} = \frac{1}{0,80} = 1,25 \quad (33)$$

O fator de energia primária não-renovável para a energia térmica produzida separadamente é dado por:

$$f_{Q,sep}^{nren} = \frac{\sum_i E_{Ff,Q,sep,i}}{\sum_i E_{Q,sep,i}} = \frac{E_{Ff,Q,sep}}{E_{Q,sep}} \quad (34)$$

Tal como já foi referido anteriormente, neste caso de estudo, foi feita uma estimativa produção local de energia térmica a partir dos valores de combustíveis no sector da indústria e dos edifícios. Assim sendo, a equação (34) pode escrever-se:

$$f_{Q,sep}^{nren} = \frac{E_{Ff,Q,ind} + E_{Ff,Q,edif}}{E_{Q,sep}} \quad (35)$$

As Tabela 8 e Tabela 9 apresentam os valores referentes a 2013, para a energia elétrica e para a energia térmica, respetivamente. Os valores das células mais claras já foram determinados no capítulo anterior e os valores das células mais escuras foram determinados com base nas equações apresentadas no presente capítulo. Seguindo o mesmo método utilizado para a construção da Tabela 7, na coluna da direita é indicado como é que o valor da linha corresponde foi calculado. O mesmo método foi utilizado para os anos de 1990 a 2012, sendo que a tabela completa é apresentada em anexo.

Tabela 8 - Cálculo do fatores de energia primária total e não renovável para a eletricidade produzida separadamente em Portugal, com base nos dados da DGEG, para o ano de 2013.

$E_{Ff,el,conv}$	Consumo de combustíveis fósseis na produção de eletricidade convencional	3 125 670	Tabela 7
$E_{F,el,sep}$	Consumo total de combustíveis na produção de eletricidade em separado	6 017 134	
$E_{el,sep}$	Produção líquida de eletricidade em separado	3 100 605	
$f_{el,sep}$	Fator de energia primária para a produção de eletricidade em separado	<b>1,94</b>	(31)
$f_{el,sep}^{nren}$	Fator de energia primária não renovável para a produção de eletricidade em separado	<b>1,01</b>	(32)

Tabela 9 - Cálculo do fatores de energia primária total e não renovável para a energia térmica produzida separadamente em Portugal, com base nos dados da DGEG, para o ano de 2013.

$E_{Ff,Q,ind}$	Consumo de combustíveis fósseis na produção de calor separadamente (indústria)	1 577 329	Tabela 7
$E_{Ff,Q,edif}$	Consumo de combustíveis fósseis na produção de calor separadamente (edifícios)	1 120 870	
$E_{Q,sep}$	Produção líquida de energia térmica separadamente	2 960 742	
$f_{Q,sep}$	Fator de energia primária para a produção de energia térmica separadamente	<b>1,25</b>	(33)
$f_{Q,sep}^{nren}$	Fator de energia primária não-renovável para a produção de energia térmica separadamente	<b>0,91</b>	(35)

### 6.5.3 Algoritmo para o cálculo do fator de energia primária para a eletricidade produzida através de cogeração

#### a) O que é a cogeração?

O processo de cogeração consiste na produção combinada de energia térmica e energia elétrica, a partir de um único combustível, sendo o mais utilizado o gás natural.

Nos processos convencionais de conversão de energia fóssil em energia elétrica, grande parte da energia contida no combustível é convertida em energia térmica que é dissipada para o meio ambiente. De facto, a maioria das centrais termoelétricas tem um rendimento entre 35 e 40% (Galp, 2014; Cogen Portugal), sendo que mesmo as centrais mais modernas de ciclo combinado com turbina a gás conseguem atingir, no máximo, um rendimento de 60% (Galp, 2014).

Através da cogeração, é possível aproveitar grande parte do calor que nos processos convencionais é dissipado. Desta forma, as perdas associadas ao processo de conversão de energia são significativamente reduzidas: através de cogeração pode ser aproveitada até cerca de 85% da energia contida no combustível, como se verifica na Figura 32. A cogeração torna-se portanto uma solução mais eficiente, que permite racionalizar o consumo de combustíveis fósseis necessários à produção de energia útil. É também uma solução bastante atrativa do ponto de vista ambiental, uma vez que para fornecer a mesma energia final é utilizada uma menor quantidade de energia primária, o que se traduz numa redução significativa das emissões de dióxido de carbono e outros GEE para a atmosfera (Cogen Portugal).

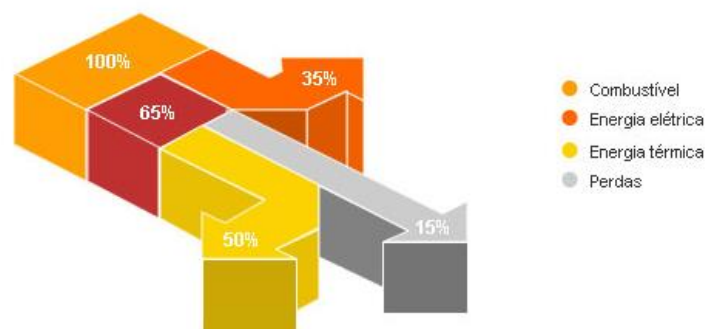


Figura 32 - Processo de cogeração e perdas de energia associadas (adaptado da Galp, Portugal).

#### b) Métodos para contabilização da energia produzida através de cogeração na determinação do fator de energia primária global

As unidades de cogeração fazem quase sempre parte do cenário de produção local. Desta forma, é importante definir critérios para distribuir de forma justa o consumo de combustíveis entre os produtos finais da cogeração: a eletricidade e a energia térmica.

Nos primeiros métodos apresentados, o consumo de combustíveis no processo de cogeração era atribuído apenas à produção de eletricidade ou apenas à produção de energia térmica. No entanto, regulamentos mais recentes apresentam métodos baseados na repartição do consumo de combustível, com base em fatores de energia primária estabelecidos para a energia elétrica e para a energia térmica, que normalmente correspondem às eficiências médias das unidades de produção em separado. Este

método de “alocação” é mais justo que o anterior, uma vez que tenta distribuir de forma justa os ganhos da cogeração entre ambos os produtos finais. No entanto, fá-lo com respeito a um conjunto de valores de referência das eficiências médias das unidades de produção em separado, o que pode resultar em resultados injustos e inconsistências, as quais ganham importância com o aumento da fração de cogeração no mercado energético local. Estas distorções dos resultados podem, por exemplo, desencorajar investimentos em sistemas de aquecimento urbano alimentados por sistemas de cogeração.

Por estas razões, *Berreta et al* (2012) apresentou um método no qual os parâmetros de “alocação” são “autorregulados” com base nos fatores de energia primária médios para a energia elétrica e energia térmica na área local de interesse, incluindo a unidade de cogeração. Desta forma, é tido em conta o cenário energético real da área local de interesse e não apenas valores de referência correspondentes às eficiências médias das unidades de produção em separado. Este método é designado de “*Self-Tuned Average-Local-Productions Reference*” (STALPR) e é apresentado no capítulo seguinte.

### c) Método “Self-Tuned Average-Local-Productions Reference” (STALPR).

Como já foi referido anteriormente, o fundamento do método STALPR proposto por *Berreta et al* (2012) é que os parâmetros de “alocação” a serem utilizados para atribuir fatores de energia primária à energia elétrica e térmica co-geradas não devem ser valores de referência estáticos estabelecidos com base nas eficiências médias das unidades de produção em separado, devem ser determinados pelo próprio método como características do cenário real de produção de energia elétrica e térmica.

A Figura 31 representa a área local de interesse, na qual existem unidades de produção de energia elétrica e térmica separadamente e uma unidade de cogeração. O objetivo do método é estabelecer uma regra justa para determinar como o consumo de energia primária da unidade de cogeração,  $f_{F, \text{chp}} E_{F, \text{chp}}$ , deve ser distribuído entre os dois produtos da cogeração, ou seja, atribuir valores justos para  $f_{el, \text{chp}}$  e  $f_{Q, \text{chp}}$ .

Primeiramente, é necessário garantir que é cumprida a lei de conservação de energia, isto é, a energia primária incorporada no combustível tem que ser igual à soma da energia primária incorporada nos produtos da cogeração:

$$f_{F, \text{chp}} E_{F, \text{chp}} = f_{el, \text{chp}} E_{el, \text{chp}} + f_{Q, \text{chp}} E_{Q, \text{chp}} \quad (36)$$

As frações de “alocação” de energia primária para a energia elétrica e para a energia térmica produzidas através de cogeração são definidas, respetivamente, por:

$$\alpha_{el, \text{chp}} = \frac{f_{el, \text{chp}} E_{el, \text{chp}}}{f_{F, \text{chp}} E_{F, \text{chp}}} \quad (37)$$

$$\alpha_{Q, \text{chp}} = \frac{f_{Q, \text{chp}} E_{Q, \text{chp}}}{f_{F, \text{chp}} E_{F, \text{chp}}}$$

Tal como já foi referido anteriormente,  $f_{el, \text{loc}}$  e  $f_{Q, \text{loc}}$  são os fatores de energia primária médios para a energia elétrica e a energia térmica produzidas por centrais que servem a área local de interesse e são determinados a partir da equação (19).

A energia primária incorporada no combustível utilizado para cogeração é distribuída pela eletricidade e calor co-gerados com base na proporção entre a energia primária incorporada na eletricidade e no calor produzidos pelas unidades na área local de interesse, incluindo a própria unidade de cogeração:



$$\frac{f_{Q, \text{chp}}}{f_{\text{el}, \text{chp}}} = \frac{f_{Q, \text{loc}}}{f_{\text{el}, \text{loc}}} \quad (38)$$

Tendo em conta as expressões (36) e (38), as frações de “alocação” definidas em (37) podem ser escritas como:

$$\alpha_{\text{el}, \text{chp}} = \frac{f_{Q, \text{loc}} E_{Q, \text{chp}}}{f_{\text{el}, \text{loc}} E_{\text{el}, \text{chp}} + f_{Q, \text{loc}} E_{Q, \text{chp}}} \quad (39)$$

$$\alpha_{\text{el}, \text{chp}} = \frac{f_{\text{el}, \text{loc}} E_{\text{el}, \text{chp}}}{f_{\text{el}, \text{loc}} E_{\text{el}, \text{chp}} + f_{Q, \text{loc}} E_{Q, \text{chp}}}$$

Combinando as expressões (37) e (39), determinam-se as expressões explícitas para os fatores de energia primária para a produção de energia elétrica e de energia térmica através de cogeração:

$$f_{\text{el}, \text{chp}} = \frac{f_{F, \text{chp}} E_{F, \text{chp}}}{f_{Q, \text{loc}} E_{Q, \text{chp}} + f_{\text{el}, \text{loc}} E_{\text{el}, \text{chp}}} f_{\text{el}, \text{loc}} \quad (40)$$

$$f_{Q, \text{chp}} = \frac{f_{F, \text{chp}} E_{F, \text{chp}}}{f_{Q, \text{loc}} E_{Q, \text{chp}} + f_{\text{el}, \text{loc}} E_{\text{el}, \text{chp}}} f_{Q, \text{loc}}$$

Seguidamente, são definidos dois parâmetros associados à unidade de cogeração:  $\sigma_{\text{chp}}$ , que corresponde à razão entre a produção de energia elétrica e a produção de energia térmica através de cogeração; e  $\eta_{\text{chp}}$ , que corresponde ao rendimento do processo de cogeração:

$$\sigma_{\text{chp}} = \frac{E_{\text{el}, \text{chp}}}{E_{Q, \text{chp}}} \quad (41)$$

$$\eta_{\text{chp}} = \frac{E_{\text{el}, \text{chp}} + E_{Q, \text{chp}}}{E_{F, \text{chp}}} \quad (42)$$

e dois parâmetros associados à área local de interesse:  $\phi_{\text{loc}}$ , que corresponde à razão entre os fatores de energia primária globais para a energia térmica e para a energia elétrica; e  $\sigma_{\text{loc}}$ , que corresponde à razão entre os totais de produção de energia elétrica e energia térmica.

$$\phi_{\text{loc}} = \frac{f_{Q, \text{loc}}}{f_{\text{el}, \text{loc}}} \quad (43)$$

$$\sigma_{\text{loc}} = \frac{\sum_i E_{\text{el}, \text{sep}, i} + E_{\text{el}, \text{chp}}}{\sum_i E_{Q, \text{sep}, i} + E_{Q, \text{chp}}} = \frac{E_{\text{el}, \text{tot}}}{E_{Q, \text{tot}}} \quad (44)$$

Tendo em conta os parâmetros definidos pelas equações (41) e (43) as frações de “alocação” definidos em (39) podem ser escritos como:

$$\alpha_{Q, \text{chp}} = \frac{\phi_{\text{loc}}}{\sigma_{\text{chp}} + \phi_{\text{loc}}} \quad (45)$$

$$\alpha_{\text{el}, \text{chp}} = \frac{\sigma_{\text{chp}}}{\sigma_{\text{chp}} + \phi_{\text{loc}}}$$

Combinando as equações (39) e (40), os fatores de energia primária para a produção de energia elétrica e térmica através de cogeração podem ser escritos como:

$$f_{Q, \text{chp}} = \frac{\alpha_{Q, \text{chp}} f_{F, \text{chp}} E_{F, \text{chp}}}{E_{Q, \text{chp}}} \quad (46)$$

$$f_{Q, \text{el}} = \frac{\alpha_{\text{el}, \text{chp}} f_{F, \text{chp}} E_{F, \text{chp}}}{E_{\text{el}, \text{chp}}}$$

Ou, equivalentemente, tendo em conta as equações (41), (42) e (45):

$$f_{Q, \text{chp}} = \frac{(\sigma_{\text{chp}} + 1) f_{F, \text{chp}} \phi_{\text{loc}}}{(\sigma_{\text{chp}} + \phi_{\text{loc}}) \eta_{\text{chp}}} \quad (47)$$

$$f_{\text{el}, \text{chp}} = \frac{(\sigma_{\text{chp}} + 1) f_{F, \text{chp}}}{(\sigma_{\text{chp}} + \phi_{\text{loc}}) \eta_{\text{chp}}}$$

Seguidamente, define-se a fração de produção total de calor que é produzido através de cogeração,  $\gamma_{Q, \text{chp}}$ , e a produção total de eletricidade que é produzida através e cogeração,  $\gamma_{\text{el}, \text{chp}}$ :

$$\gamma_{Q, \text{chp}} = 1 - \gamma_{Q, \text{sep}} = \frac{E_{Q, \text{chp}}}{\sum_i E_{Q, \text{sep}, i} + E_{Q, \text{chp}}} \quad (48)$$

$$\gamma_{\text{el}, \text{chp}} = 1 - \gamma_{\text{el}, \text{sep}} = \frac{E_{\text{el}, \text{chp}}}{\sum_i E_{\text{el}, \text{sep}, i} + E_{\text{el}, \text{chp}}} = \frac{\sigma_{\text{chp}} \gamma_{Q, \text{chp}}}{\sigma_{\text{loc}}}$$

Os fatores de energia primária médios para a produção de calor e eletricidade em separado, definidos por (33) e (30) respetivamente, podem ser escritos da seguinte forma:

$$f_{Q, \text{sep}} = \frac{\sum_i f_{Q, \text{sep}, i} E_{Q, \text{sep}, i}}{\sum_i E_{Q, \text{sep}, i}} \quad (49)$$

$$f_{el,sep} = \frac{\sum_i f_{el,sep,i} E_{el,sep,i}}{\sum_i E_{el,sep,i}}$$

Assim sendo, tendo em conta as equações (48) e (49), os fatores de energia primária médios para a energia térmica e elétrica produzida por centrais que servem a área local, definidos em (19), podem ser escritos como

$$f_{Q,loc} = (1 - \gamma_{Q,chp}) f_{Q,sep} + \gamma_{Q,chp} f_{Q,chp} \quad (50)$$

$$f_{el,loc} = (1 - \gamma_{el,chp}) f_{el,sep} + \gamma_{el,chp} f_{el,chp}$$

Combinando as equações (43), (47) e (50), obtém-se uma relação que define  $\phi_{loc}$  implicitamente em função dos parâmetros da unidade de cogeração  $\sigma_{chp}$ ,  $f_{F,chp}$  e  $\eta_{chp}$  e dos parâmetros locais  $\gamma_{el,chp}$ ,  $\gamma_{Q,chp}$ ,  $f_{el,sep}$  e  $f_{Q,sep}$ :

$$\phi_{loc} = \frac{(1 - \gamma_{Q,chp}) f_{Q,sep} + \gamma_{Q,chp} f_{Q,chp} \frac{(\sigma_{chp} + 1) f_{F,chp} \phi_{loc}}{(\sigma_{chp} + \phi_{loc}) \eta_{chp}}}{(1 - \gamma_{el,chp}) f_{el,sep} + \gamma_{el,chp} f_{el,chp} \frac{(\sigma_{chp} + 1) f_{F,chp}}{(\sigma_{chp} + \phi_{loc}) \eta_{chp}}} \quad (51)$$

Com base nas equações (48) e (51), o parâmetro  $\phi_{loc}$  pode ser determinado a partir da seguinte equação:

$$\begin{aligned} & (\sigma_{loc} - \gamma_{Q,chp} \sigma_{chp}) \eta_{chp} f_{el,sep} \phi_{loc}^2 + [f_{F,chp} \gamma_{Q,chp} (\sigma_{chp} - \sigma_{loc}) (\sigma_{chp} + 1) \\ & + (\sigma_{loc} - \gamma_{Q,chp} \sigma_{chp}) \sigma_{chp} \eta_{chp} f_{el,sep} - (1 - \gamma_{Q,chp}) \sigma_{loc} \eta_{chp} f_{Q,sep}] \phi_{loc} \\ & - (1 - \gamma_{Q,chp}) \sigma_{chp} \sigma_{loc} \eta_{chp} f_{Q,sep} = 0 \end{aligned} \quad (52)$$

É de notar que a equação (52) é uma equação de 2º grau, em que a incógnita é o  $\phi_{loc}$  e os coeficientes dos termos do 2º grau, 1º grau e independente são, respetivamente:

$$a = (\sigma_{loc} - \gamma_{Q,chp} \sigma_{chp}) \eta_{chp} f_{el,sep} \quad (53)$$

$$\begin{aligned} b = & f_{F,chp} \gamma_{Q,chp} (\sigma_{chp} - \sigma_{loc}) (\sigma_{chp} + 1) \\ & + (\sigma_{loc} - \gamma_{Q,chp} \sigma_{chp}) \sigma_{chp} \eta_{chp} f_{el,sep} - (1 - \gamma_{Q,chp}) \sigma_{loc} \eta_{chp} f_{Q,sep} \end{aligned} \quad (54)$$

$$c = -(1 - \gamma_{Q,chp}) \sigma_{chp} \sigma_{loc} \eta_{chp} f_{Q,sep} \quad (55)$$

Tendo em conta as expressões (53), (54) e (55), a equação de 2º grau (52) pode ser escrita da seguinte forma:

$$a\phi_{loc}^2 + b\phi_{loc} + c = 0 \quad (56)$$

Assim sendo, a incógnita  $\phi_{loc}$  pode ser determinada recorrendo à fórmula resolvente. É de notar que neste caso apenas nos interessa a solução positiva, pelo que  $\phi_{loc}$  é calculado da seguinte forma:

$$\phi_{loc} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (57)$$

**d) Cálculo dos fatores de energia primária para a energia elétrica e para a energia térmica produzida através de cogeração, utilizando o método STALPR**

Os fatores de energia primária para a energia elétrica e para a energia térmica produzida através de cogeração foram calculados com base no método STALPR apresentado na secção 6.5.3c). Na Tabela 10 são apresentados os valores obtidos para o ano de 2013. O mesmo método foi utilizado para os anos entre 1990 e 2012, sendo que a tabela completa é apresentada em anexo.

É de notar que, em conformidade com o Despacho n.º 15793-D/2013, considerou-se que o fator de energia primária total para os combustíveis utilizados na cogeração é igual a 1. O fator de energia primária não renovável é determinado a partir de:

$$f_{F,chp}^{nren} = \frac{E_{Ff,chp}}{E_{F,chp}} = \frac{E_{Ff,chp}}{E_{Ff,chp} + E_{Fren,chp}} \quad (58)$$

Tal como já foi referido anteriormente, os fatores com índice «nren» são fatores de energia primária não-renovável, ou seja, são determinados considerando um fator para a energia de origem renovável igual a 0. Os fatores sem este índice são fatores de energia primária totais e são determinados considerando que o fator para a energia de origem renovável é igual a 1.

Tabela 10 – Cálculo do fator de energia primária para a eletricidade produzida através de cogeração em Portugal, com base nos dados da DGEG, para o ano de 2013.

Parâmetros associados à unidade de cogeração			
$E_{FF, chp}$	Consumo de combustíveis fósseis na cogeração	1 701 109	Tabela 7
$E_{F, chp}$	Consumo de combustíveis na cogeração	2 841 913	
$E_{el, chp}$	Produção líquida de energia elétrica através de cogeração	549 261	
$E_{Q, chp}$	Produção líquida de energia térmica através de cogeração	1 370 310	
$E_{Q, tot}$	Total de produção líquida de energia térmica	4 331 052	
$f_{F, chp}$	Fator de energia primária para os combustíveis utilizados na cogeração	1	DL 118/2013
$f_{F, chp}^{nren}$	Fator de energia primária não-renovável para os combustíveis utilizados na cogeração	0,60	(58)
$\sigma_{chp}$	Razão entre a produção de eletricidade e calor através de cogeração	0,40	(41)
$\eta_{chp}$	Rendimento do processo de cogeração	0,68	(42)
$\gamma_{el, chp}$	Fração de eletricidade produzida através de cogeração	0,15	(48)
$\gamma_{Q, chp}$	Fração de calor produzida através de cogeração	0,32	

Parâmetros associados à área local de interesse			
$f_{el, sep}$	Fator de energia primária para a produção de eletricidade em separado	1,94	Tabela 8
$f_{el, sep}^{nren}$		1,01	
$f_{Q, sep}$	Fator de energia primária para a produção de energia térmica separadamente	1,25	Tabela 9
$f_{Q, sep}^{nren}$		0,91	
$\sigma_{loc}$	Razão entre a produção de energia elétrica e de energia térmica	0,84	(44)
$a$	Parâmetros utilizados para determinação do $\phi_{loc}$	0,94	(53)
$a^{nren}$		0,49	
$b$		-0,67	(54)
$b^{nren}$		-0,36	
$c$		-0,19	(55)
$c^{nren}$		-0,14	
$\phi_{loc}$	Razão entre os fatores de energia primária para a energia térmica e a energia elétrica	0,94	(57)
$\phi_{loc}^{nren}$		1,02	

Fatores de energia primária (cogeração)			
$f_{el, chp}$	Fator de energia primária para a produção de energia elétrica através de cogeração	1,55	(47)
$f_{el, chp}^{nren}$		0,88	
$f_{Q, chp}$	Fator de energia primária para a produção de energia térmica através de cogeração	1,45	
$f_{Q, chp}^{nren}$		0,89	

#### 6.5.4 Cálculo do fator de energia primária global para a produção de eletricidade em Portugal

Na secção 6.5 foi apresentada uma tabela com os valores a calcular para a determinação do fator de energia primária para a energia elétrica em Portugal (Tabela 6). Esses valores foram calculados e os algoritmos utilizados foram apresentados nos capítulos anteriores. Na Tabela 11 são apresentados os valores obtidos. O fator de energia primária global foi calculado a partir da equação (19). A área local

de interesse do presente caso de estudo (ou seja, Portugal) é ilustrada na Figura 33, a qual representa um caso particular Figura 31.

Tabela 11 – Determinação do fator de energia primária para a energia elétrica em Portugal, para o ano de 2013 (Tabela 6 preenchida)

$E_{el,sep}$	Energia elétrica produzida separadamente [tep/ano]	3 100 605	Tabela 7
$E_{el,chp}$	Energia elétrica produzida através de cogeração [tep/ano]	549 261	
$E_{Q,sep}$	Energia térmica produzida separadamente [tep/ano]	2 960 742	
$E_{Q,chp}$	Energia térmica produzida através de cogeração [tep/ano]	1 370 310	
$f_{el,sep}$	Fator de energia primária para a produção de energia elétrica separadamente	1,94	Tabela 8
$f_{el,sep}^{nren}$		1,01	
$f_{Q,sep}$	Fator de energia primária para a produção de energia térmica separadamente	1,25	Tabela 9
$f_{Q,sep}^{nren}$		0,91	
$f_{el,chp}$	Fator de energia primária para a produção de energia elétrica através de cogeração	1,55	Tabela 10
$f_{el,chp}^{nren}$		0,88	
$f_{Q,chp}$	Fator de energia primária para a produção de energia térmica através de cogeração	1,45	
$f_{Q,chp}^{nren}$		0,89	
$f_{el}$	<b>Fator de energia primária global para a produção de energia elétrica</b>	<b>1,88</b>	(19)
$f_{el}^{nren}$		<b>0,99</b>	

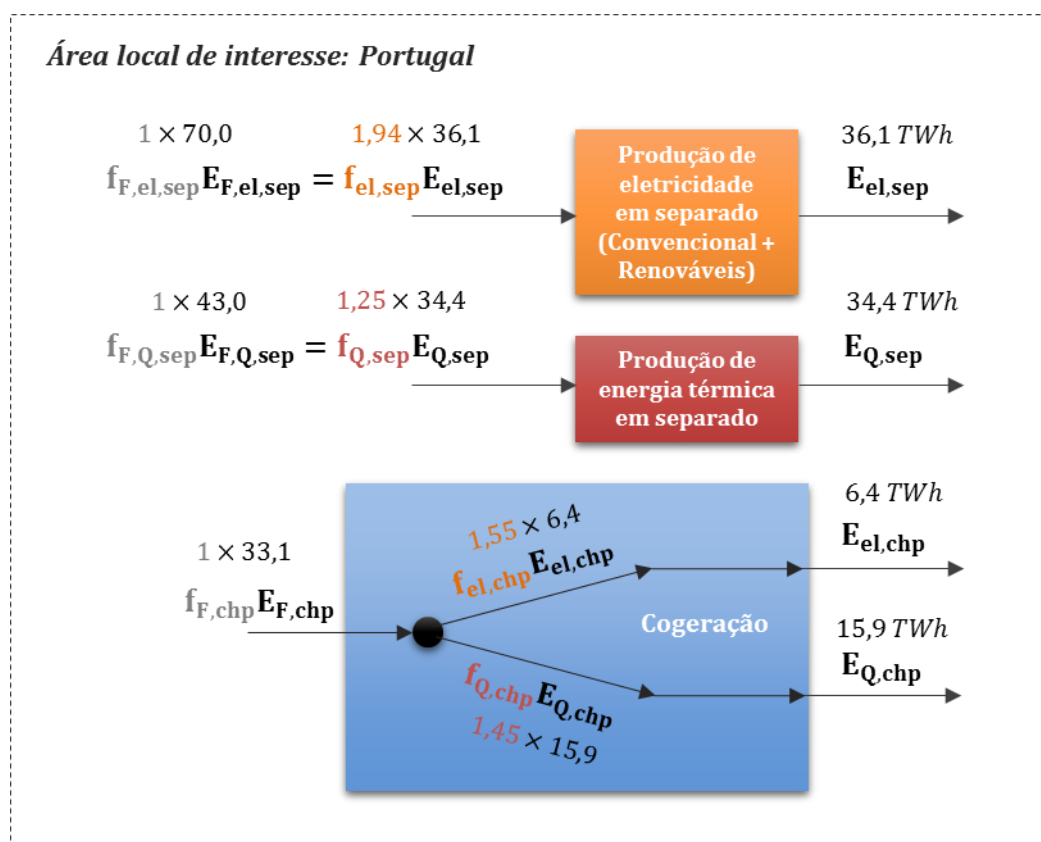


Figura 33 - Representação esquemática da área local de interesse do caso de estudo (Portugal), para o ano de 2013 (adaptado de Beretta et al, 2012). Os valores de energia térmica e elétrica são apresentados em TWh/ano.

Tal como já foi referido anteriormente, o mesmo método foi aplicado para determinar o fator de energia primária global para a energia elétrica nos anos de 1990 a 2012, sendo que a tabela completa é apresentada em anexo. Seguidamente, é apresentado um gráfico da variação do fator de energia primária (total e não renovável) para a energia elétrica em Portugal nesse intervalo de tempo.

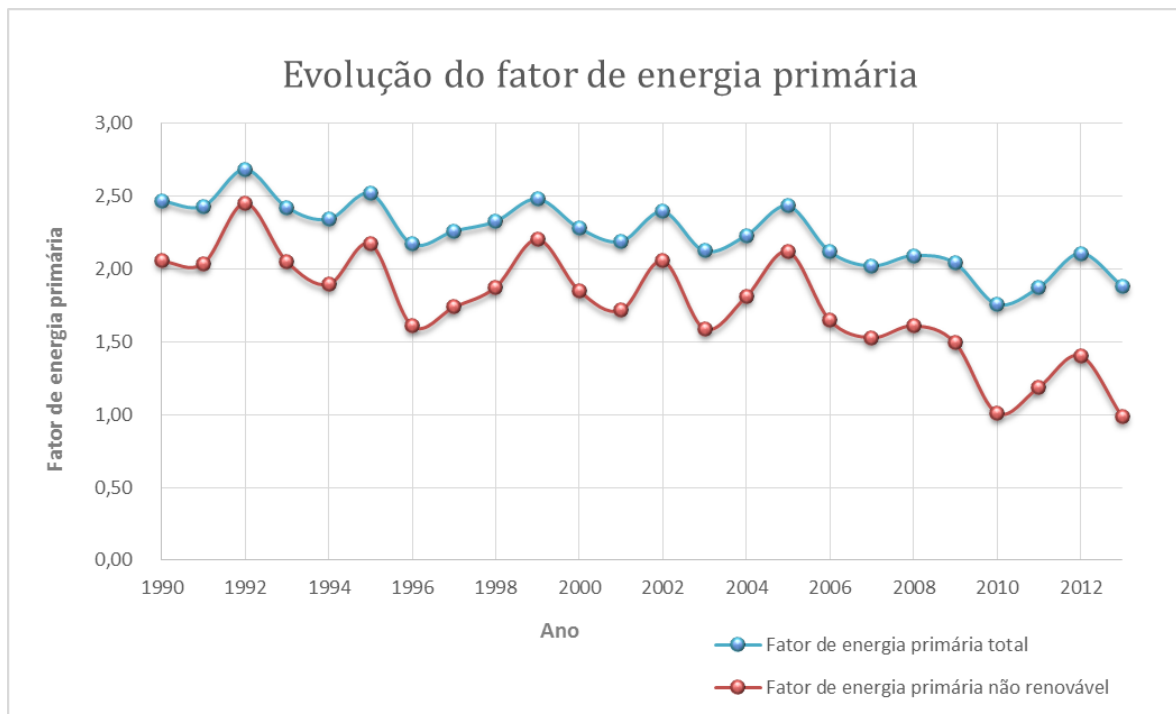


Figura 34 – Gráfico da evolução do fator de energia primária total e do fator de energia primária não-renovável para a energia elétrica em Portugal, entre os anos de 1990 e 2013, inclusive (dados disponibilizados pela DGEG).

A linha a azul corresponde à variação do fator de energia primária total e a linha a vermelho corresponde à variação do fator de energia primária não-renovável. Verifica-se que as duas curvas afastam-se ligeiramente ao longo do tempo, o que sugere um aumento da quota-parte de energia de origem renovável no *mix* energético nacional.

Com os dados fornecidos pela DGEG não foi possível determinar rigorosamente a quota-parte de renováveis na produção de energia elétrica, uma vez que estão apenas disponíveis os valores totais da produção de energia elétrica, não discriminado a parte que é de origem renovável. Assim sendo, foram recolhidos e tratados os dados disponibilizados pela IEA (*Internacional Energy Agency*) para o cálculo da quota-parte de energia renovável (ver Anexo III). A Figura 35 apresenta a variação da produção de energia elétrica (bruta e líquida) calculada com base nos dados da DGEG e da IEA. Analisando o gráfico, verifica-se que os dados disponibilizados pelas duas entidades são coerentes, uma vez que as curvas são quase coincidentes, confirmando-se portanto a viabilidade da utilização simultânea das duas bases de dados.

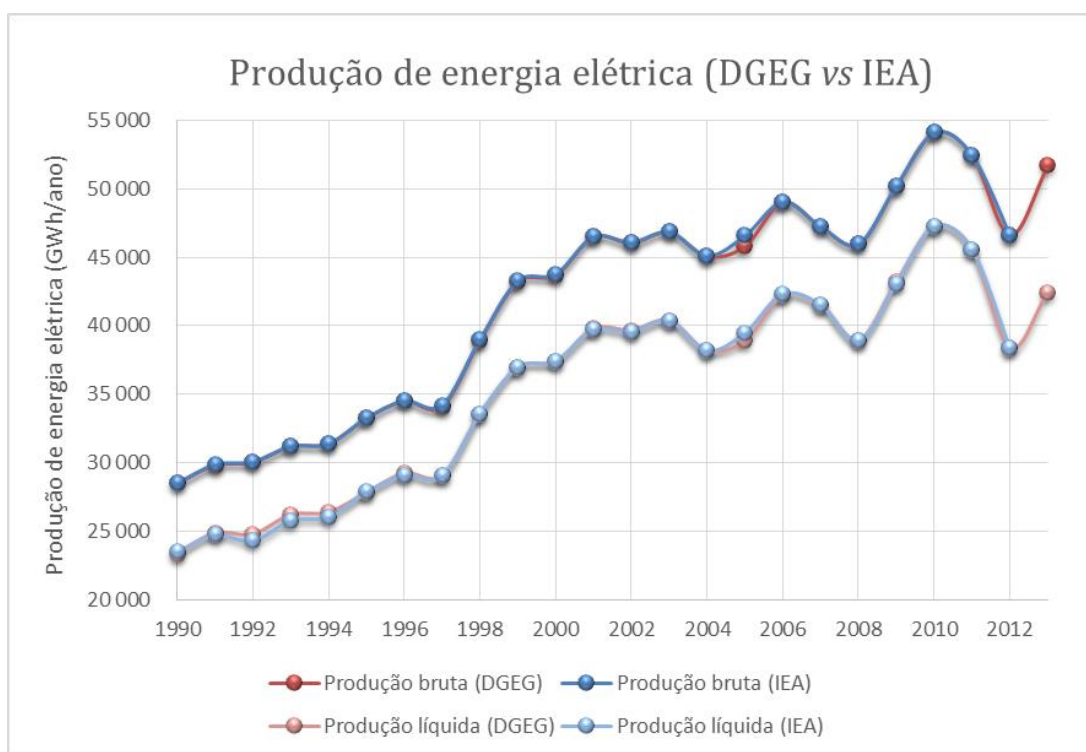


Figura 35 - Produção bruta e líquida de energia elétrica em Portugal, determinada com base nos dados disponibilizados pela DGEG e pela IEA.

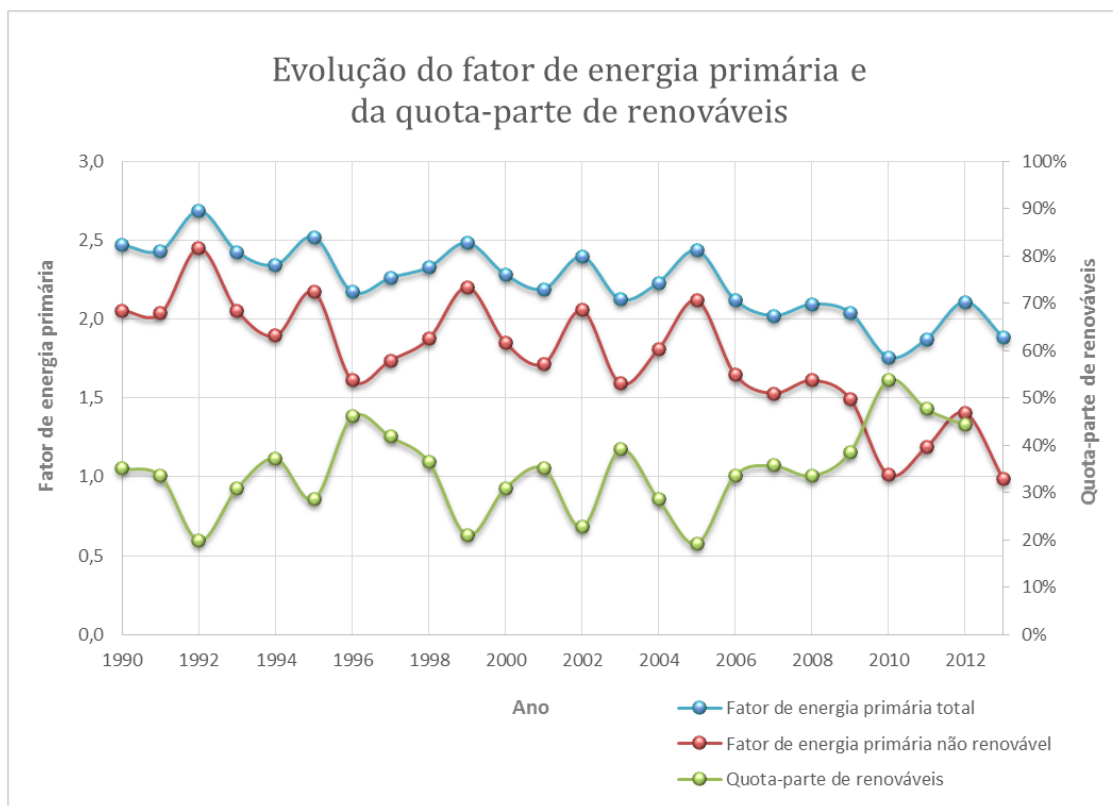


Figura 36 - Evolução do fator de energia primária total e do fator de energia primária não-renovável e da quota-parte de energia renovável em Portugal, para a energia elétrica, entre os anos de 1990 e 2012, inclusive (dados disponibilizados pela DGEG e IEA).



O gráfico da Figura 36 é semelhante ao gráfico da Figura 34, ao qual se adicionou a variação da quota-parte de energia renovável, calculada com base nos dados da IEA. Os cálculos realizados são apresentados no Anexo III.

Analisando o gráfico, verifica-se que os maximizantes da curva verde coincidem com os minimizantes das curvas azul e vermelha, o que significa que nos anos em que a quota-parte de renováveis é mais elevada, os fatores de energia primária total e não-renovável são mais reduzidos (como por exemplo nos anos de 1996, 2001, 2003, 2010 e 2013). Analogamente, os minimizantes das curvas azul e vermelha coincidem com os maximizantes da linha verde, ou seja, quando a quota-parte de renováveis é mais reduzida, o fator de energia primária é mais elevado (como por exemplo nos anos de 1992, 1995, 1999, 2002 e 2005). Tal indica que as variáveis estão fortemente correlacionadas, ou seja, que tal como já foi referido anteriormente, a quota-parte de renováveis no *mix* energético tem um grande impacto no fator de energia primária. É natural que tal aconteça, uma vez que a eletricidade de origem não-renovável é produzida através de processos de combustão, os quais, tal como já foi referido anteriormente têm um rendimento bastante reduzido, o que implica que os fatores de energia primária para a produção de energia de origem não renovável sejam bastante elevados. Para a produção de energia de origem renovável (sem combustíveis), os países convencionam um fator entre 0 e 1, pelo que a energia de origem renovável terá sempre um fator de energia primária bastante mais reduzido em comparação com a energia de origem não-renovável. Assim sendo, nos anos em que a quota-parte de renováveis é mais elevada, o fator de energia primária global será mais reduzido e vice-versa.

Apesar das variações residuais, do ponto de vista global o fator de energia primária tem vindo a decrescer ao longo dos anos, o que significa que a razão entre o consumo de energia primária e a produção líquida de energia é cada vez menor, devido ao aumento da eficiência energética e à crescente exploração de fontes de energia renováveis. É de notar que desde 1999 que o fator de energia primária está sempre abaixo do valor 2.5, o valor estabelecido por norma em Portugal.

As variações residuais são devidas à inconstância da produção de energia de origem renovável. De facto, apesar do contínuo aumento da potência instalada de sistemas de energia renovável, a sua eficácia é muito dependente das condições climáticas. Nas Figura 37 e Figura 38 são apresentados gráficos da variação de produção de energia elétrica a partir das principais fontes de energia renovável em Portugal: hídrica, eólica, solar fotovoltaica, geotérmica e biocombustíveis. Analisando o gráfico da Figura 37, verifica-se que a produção de eletricidade de origem renovável tem vindo a aumentar continuamente no caso de todas as fontes renováveis, exceto a hidroeletricidade. As centrais hidroelétricas foram a primeira aposta em grande massa nas energias renováveis em Portugal: de facto, analisando a Figura 38, verifica-se que na década de 90 a eletricidade renovável era proveniente quase exclusivamente das centrais hídricas e uma pequena fração da biomassa e biocombustíveis. A potência total instalada de centrais hidroelétricas não sofreu alterações muito significativas na última década, pelo que a produção de hidroeletricidade passou a ser controlada exclusivamente pela eficácia dos sistemas já existentes e, consequentemente pelas condições climáticas, neste caso específico, pela precipitação anual. Consequentemente, a quota-parte de renováveis era quase exclusivamente controlada pela produção de energia hídrica: é de notar que os anos em que a quota-parte de renováveis é mais reduzida (por exemplo, 1992, 1999, 2002, 2005) correspondem a anos em que a produção de energia hidroelétrica é mais reduzida (ver Figura 37), provavelmente por terem sido anos mais secos.

Apenas em meados da década de 2000 se começou a apostar significativamente na energia eólica e na energia solar fotovoltaica e a aumentar a potência instalada de sistemas de aproveitamento destas fontes de energia. Apesar da eficácia destes sistemas também depender bastante das condições climáticas, a produção de eletricidade proveniente de eólica e fotovoltaica tem aumentado continuamente nos últimos anos devido ao aumento da potência instalada. Na Figura 38 verifica-se que em meados da década de 2000, a energia eólica começa a ganhar expressão, sendo que uma fração considerável da produção de energia renovável é proveniente de sistemas eólicos. De facto, verifica-se no gráfico da Figura 37 que a

partir dessa altura existe uma evolução no valor da quota-parte de renováveis (a partir de 2006, este valor não voltou a descer dos 30%) e consequentemente, do fator de energia primária. Uma vez que outras fontes renováveis ganharam alguma expressão, com especial destaque da energia eólica, a quota-parte de renováveis deixou de depender apenas da produção de energia hídrica.

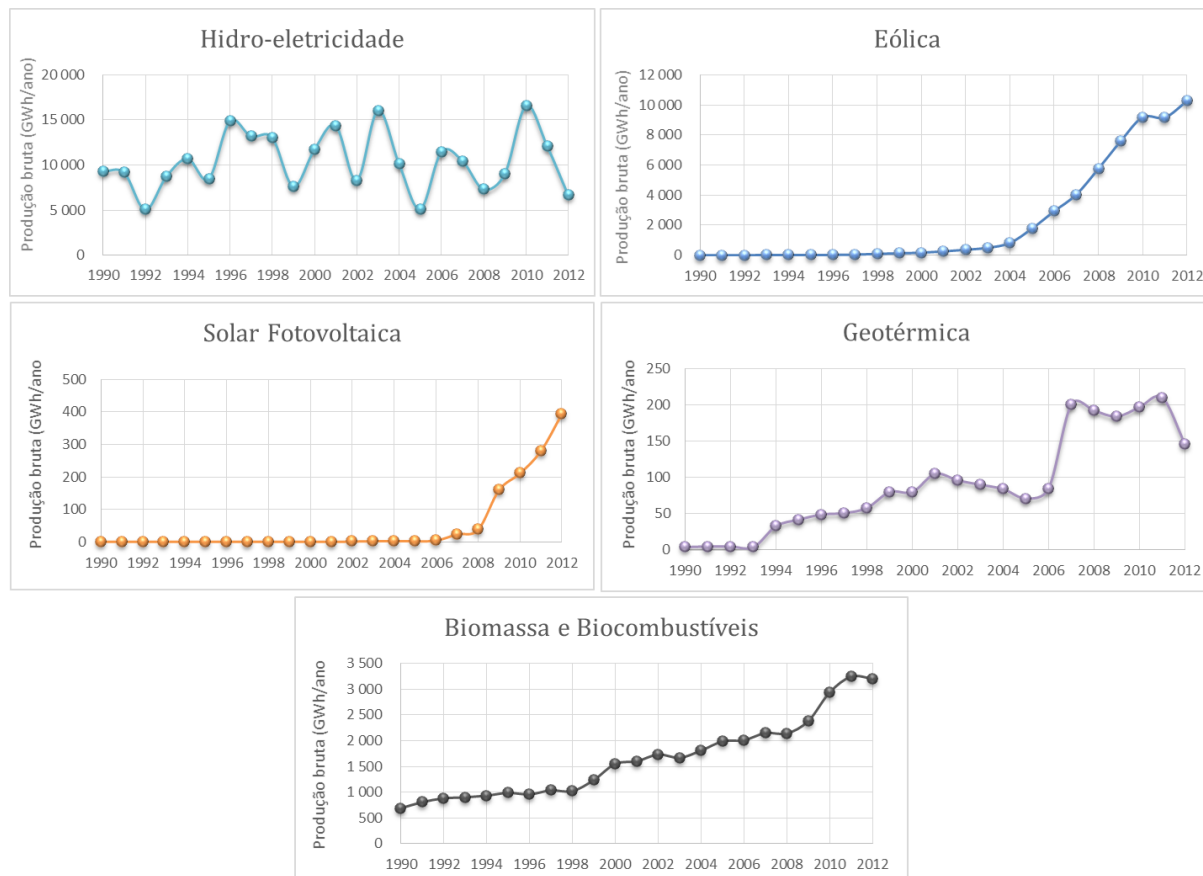


Figura 37 - Variação da produção de energia elétrica a partir das principais fontes de energia renovável em Portugal, para os anos entre 1990 e 2012, inclusive (dados disponibilizados pela IEA).

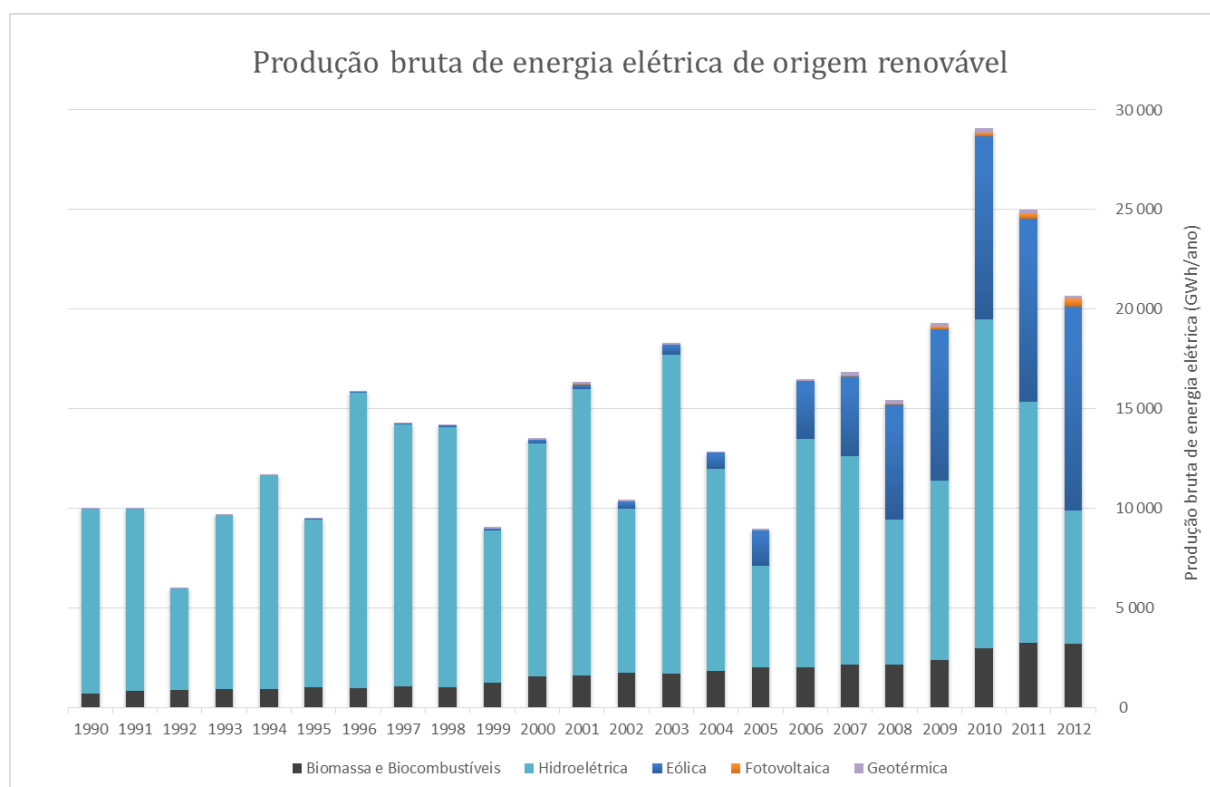


Figura 38 - Variação da produção de energia elétrica a partir das principais fontes de energia renovável em Portugal, para os anos entre 1990 e 2012, inclusive (dados disponibilizados pela IEA).

### 6.5.5 Implicações da redução do fator de energia primária para a eletricidade

Considerando a evolução do sistema electroprodutor europeu devido à penetração de renováveis, espera-se uma redução significativa dos fatores de energia primária para a eletricidade. De facto, tal como já foi referido anteriormente, alguns Estados-Membros apresentam já uma quota-parte de renováveis no seu *mix* energético suficientemente elevada para reduzir de forma significativa o fator de energia primária. Assim sendo, torna-se importante avaliar as implicações de tal redução.

A redução do fator de energia primária para a eletricidade pode ter um efeito negativo na evolução da eficiência energética dos sistemas técnicos do edifício: uma vez que a eletricidade importada “pesará” menos no balanço, não será tão “grave” importar energia. De facto, a utilização de equipamentos eficientes tem um maior impacto no balanço energético quanto mais elevado for o fator de energia primária. Assim sendo, quanto menor o fator de energia primária para a energia elétrica, menor o incentivo para um consumo elétrico mais eficiente.

Uma solução para tal problema é o estabelecimento de requisitos mínimos de eficiência energética para os sistemas técnicos do edifício, evitando desta forma que edifícios ineficientes atinjam o estatuto de nZEB devido a sistemas sobredimensionados (ver secção 5.3.3). No entanto, desta forma não existe um incentivo para escolher a solução mais eficiente para além daquilo que é estabelecido na regulamentação. Outra solução é utilizar um sistema de ponderação assimétrico em que a energia importada pese mais que a energia exportada, como por exemplo o balanço de *payback* apresentado na secção 5.2.3b). Uma vez que a energia importada “pesará” mais no balanço, tal inibe a importação de energia, estimulando a utilização de equipamentos mais eficientes. No entanto, tal tornará o balanço mais exigente, sendo dessa forma mais difícil cumprir o requisito de NZEB.

Da mesma forma, a redução do fator de energia primária pode também ter um efeito negativo na evolução de sistemas renováveis, caso se mantenha o acoplamento entre os fatores de energia primária para a energia importada e para a energia exportada: a energia exportada “pesará” menos no balanço, o que diminui a atratividade dos sistemas de geração local. De facto, quanto menor o fator de energia primária, menor o impacto que a produção local de eletricidade renovável tem no balanço.

Uma solução para tal problema é a implementação de mecanismos de apoio financeiro adequados para sistemas electroprodutores descentralizados de pequena escala (*Ecofys*, 2011), no entanto, a viabilidade de tais medidas depende da situação económica de cada Estado-Membro. Outra solução é utilizar um fator de energia primária para a eletricidade exportada superior ao utilizado para a energia importada (ver secção 5.2.3b).

A utilização de um sistema de ponderação assimétrico como solução para os problemas acima referidos tem um problema: a inibição do aumento da eficiência energética é resolvida com a aplicação de um fator mais elevado à energia importada, enquanto que a inibição da evolução dos sistemas de energia renovável é resolvida com a aplicação de um fator mais elevado à energia exportada. Esta contradição pode ser uma das razões pelas quais os Estados-Membros optam por um sistema simétrico combinado com a implementação de requisitos mínimos de eficiência energética e, quando a situação económica o permite, de medidas de apoio financeiro para sistemas de energia renovável.

Outra implicação da redução do fator de energia primária para a eletricidade é o estímulo para a eletrificação do sistema energético dos edifícios. Uma vez que o consumo elétrico “pesará” menos no balanço, tal incentiva uma mudança de combustíveis: de combustíveis fósseis para eletricidade.

Tome-se como exemplo a comparação entre dois geradores de energia térmica: uma caldeira a gás natural (com rendimento de 90%) e uma bomba de calor induzida a eletricidade (com um COP de 3,4). O gráfico da Figura 39 mostra a comparação entre a energia final e a energia primária necessária ao funcionamento de cada um dos sistemas. Considerou-se um fator de energia primária igual a 1 para o gás natural e igual a 2.5 para a eletricidade (valores atualmente em vigor em Portugal).

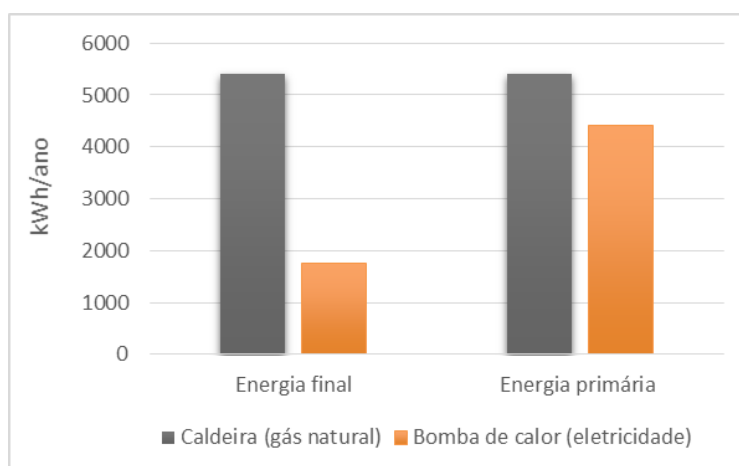


Figura 39 - Comparação entre a energia final a energia primária necessária ao funcionamento de dois sistemas de produção de energia térmica: caldeira a gás natural e bomba de calor induzida a eletricidade (adaptado de *Buildings Platform*, 2011).

No relatório da *Buildings Platform*, é referido que, utilizando a energia importada como base para o indicador de desempenho energético, a bomba de calor tem uma “pontuação” bastante superior à da caldeira, o que pode compensar o custo de investimento mais elevado. No entanto, analisando a situação a nível de energia primária, a diferença entre os desempenhos energéticos é bastante inferior, sendo que a diferença entre os custos de investimento pode já não ser compensatória. É de notar que tal cálculo foi realizado com base num fator de energia primária para a eletricidade com considerações políticas, tal como já foi referido anteriormente.

Na Figura 40 são apresentados os resultados considerando os fatores de energia primária para a eletricidade determinados na secção 6.5, com base em argumentos inteiramente científicos, para o ano de 2013 (valores mais recentes disponíveis): o fator de energia primária total (1,88) e o fator de energia primária não-renovável (0,99).

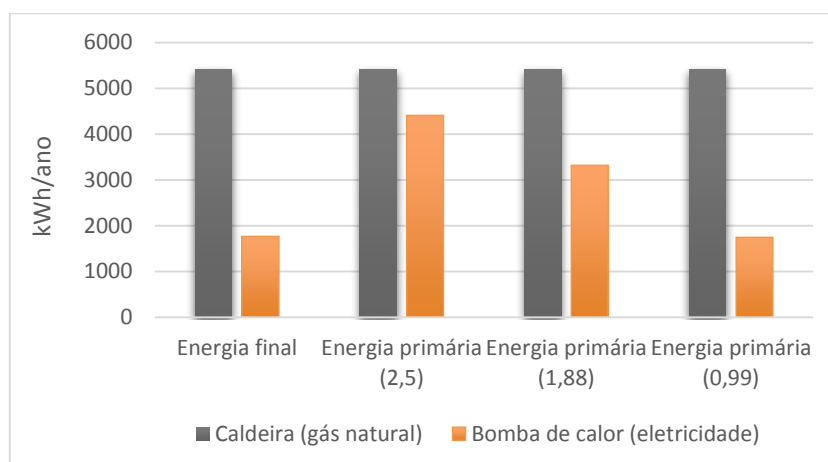


Figura 40 - Comparação entre a energia final a energia primária necessária ao funcionamento de dois sistemas de produção de energia térmica: caldeira a gás natural e bomba de calor induzida a eletricidade (adaptado de *Buildings Platform*, 2011).

A redução do fator de energia primária para a eletricidade torna a solução da bomba de calor cada vez mais atrativa conforme o fator diminui, como se verifica na Figura 40, o que poderá funcionar como um estímulo para a eletrificação do sistema energético dos edifícios. A eletrificação do sistema pode contribuir para o aumento da flexibilidade da oferta de energia elétrica, que consiste na capacidade de modelar a procura de energia com base na variação da oferta, o que se torna cada vez mais importante com o aumento da penetração de renováveis no *mix* energético (*Ecofys*, 2011). Por exemplo, as bombas de calor apresentam um certo grau de flexibilidade, uma vez que nas alturas em que existe excesso de produção de eletricidade, a bomba de calor pode aproveitar tal excesso para produção de energia térmica, a qual pode ser armazenada em reservatórios de água caso não seja necessária na altura da produção (*Ecofys*, 2011).

O esquema da Figura 41 resume as principais implicações da redução do fator de energia primária para a eletricidade.

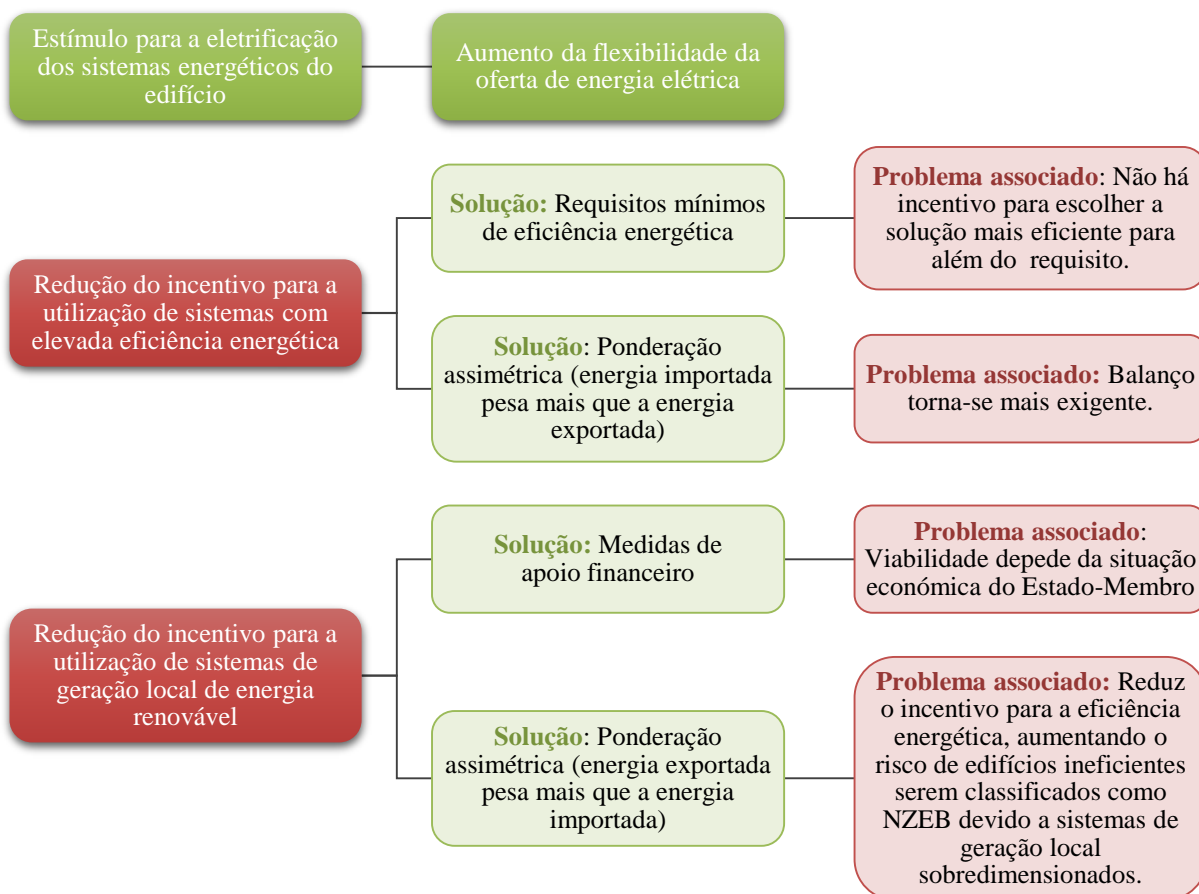


Figura 41 – Principais implicações da redução do fator de energia primária para a eletricidade

## 7. Apresentação do caso de estudo

Tal como já foi referido anteriormente, não existe uniformidade em relação ao método que deve ser utilizado para avaliação do desempenho energético de um edifício. Assim sendo, o mesmo edifício pode ou não ser considerado um NZEB dependendo da metodologia utilizada.

O objetivo do presente estudo é avaliar o desempenho energético de um edifício com base em diferentes metodologias e verificar se o edifício cumpre ou não o requisito de NZEB para cada uma das metodologias utilizadas. Serão também analisados diferentes cenários de oferta de energia.

### 7.1 Características do edifício alvo do estudo

O edifício alvo do estudo é uma habitação unifamiliar portuguesa (fração autónoma), cujas características de comportamento térmico foram analisadas no documento “*Certificação energética de edifícios solares passivos: edifícios residenciais*” (Santos, C., Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2013). O edifício é de tipologia T3 (à qual corresponde convencionalmente, face à legislação existente, 4 ocupantes), está localizado no concelho de Évora, na região Alentejo Central, e orientado maioritariamente a Sul. A esta localização correspondem as zonas climáticas de Inverno I1 e de Verão V3 (Despacho n.º 15793-F/2013). A área útil de pavimento, calculada de acordo com a definição nacional, é de 163,48 m<sup>2</sup>.

Tabela 12 - Características do edifício alvo do estudo

Funcionalidade		Habitação unifamiliar (fração autónoma)
Tipologia		T3 (4 ocupantes)
Orientação		Sul (maioritariamente)
Localização	Concelho	Évora
	Região	Alentejo Central
	Altitude	224 m
	Latitude	38,6° N
	Longitude	7,9° O
Zona Climática	Inverno	I1
	Verão	V3
Área útil de pavimento		163,48 m <sup>2</sup>

### 7.2 Necessidades energéticas do edifício alvo do estudo

As necessidades energéticas do edifício alvo do estudo foram também determinadas por Santos, C. (2013).

É de notar que o edifício em estudo integra estratégias solares passivas, a nível da orientação dos vãos envidraçados, soluções construtivas e distribuição dos espaços interiores, de modo a reduzir as necessidades energéticas do edifício. De facto, quando na conceção de um edifício são utilizadas estratégias bioclimáticas corretas de forma a retirar melhor partido das condições climáticas do local,

o edifício fica mais próximo de atingir as condições de conforto térmico pretendidas e, consequentemente, de diminuir o respetivo consumo energético para atingir esse fim (Gonçalves & Graça, 2004). Assim sendo, a adoção de estratégias solares passivas poderá influenciar significativamente o desempenho energético do edifício, apresentando portanto um forte potencial para o alcance do objetivo de necessidades nulas de energia.

As necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento do edifício e produção de águas quentes sanitárias (AQS) e ventilação mecânica foram determinadas de acordo com a metodologia apresentada no Despacho n.º 15793-I/2013. Os valores máximos admissíveis foram determinados de acordo com a metodologia apresentada na Portaria n.º 349-B/2013. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 13.

É de notar que em termos de ventilação, esta é assegurada de forma natural, pelo que não existe a necessidade de um sistema de ventilação mecânica nem de recuperação de calor. Assim sendo, a necessidade de energia útil para ventilação é nula.

Tabela 13 - Necessidades anuais de energia útil do edifício alvo do estudo

		kWh/(m <sup>2</sup> ano)
Aquecimento	Necessidades nominais anuais de energia útil, $N_{ic}$	<b>30,41</b>
	Valor máximo admissível, $N_i$	41,88
Arrefecimento	Necessidades nominais anuais de energia útil, $N_{vc}$	<b>16,49</b>
	Valor máximo admissível, $N_v$	26,94
Produção de AQS	Necessidade de energia útil, $Q_a/A_p$	<b>14,54</b>
Ventilação	Necessidade de energia útil, $W_m/A_p$	0
Energia primária	Necessidades nominais anuais de energia primária, $N_{tc}$	Depende do cenário
	Valor máximo admissível, $N_t$	89,58

Na secção 3.3 é referido que o caminho para alcançar o requisito de NZEB é dado pelo balanço entre duas ações: redução da procura e aumento da oferta de energia. É também referido que a prioridade deve ser a minimização da procura de energia através da implementação de medidas de eficiência energética adequada. A adoção de estratégias solares passivas referidas anteriormente nesta secção funcionam como medidas de eficiência energética para reduzir a procura de energia útil. Tal como se verifica na Tabela 13, as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento do edifício encontram-se abaixo do valor máximo admissível pela legislação portuguesa. Assim sendo, o passo seguinte é aumentar a oferta de energia. Foram analisados diferentes cenários de oferta de energia, os quais são apresentados na secção seguinte.

É de notar que no Despacho n.º 15793-I é definido o coeficiente  $\delta$ , que pode tomar o valor 0 (para o uso de arrefecimento) sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado (ver equação (4), secção 5.2.2a). Nesses casos, as necessidades de energia primária para arrefecimento tornam-se nulas. O fator de utilização de ganhos térmicos para o edifício alvo do presente de caso de estudo é superior ao respetivo fator de referência, pelo que não existe a necessidade de instalação de um sistema para arrefecimento no edifício (Santos, C., 2013).



### 7.3 Critérios relevantes para a caracterização de NZEB utilizados no caso de estudo

A Tabela 14 apresenta os critérios e subcritérios relevantes para a caracterização de NZEB, com base no quadro comum para uma metodologia de cálculo de desempenho energético apresentado no capítulo 5, que foram utilizados no caso de estudo.

Tabela 14 – Critérios e subcritérios relevantes para a caracterização de NZEB, com base no quadro comum para uma metodologia de cálculo de desempenho energético (quadro apresentado no capítulo 5, adaptado de *Sartori et al.* (2012).

Fronteira do sistema	Fronteira de balanço (Base) <sup>8</sup>		Aquecimento, Arrefecimento, Produção de AQS, Ventilação (nula)
	Fronteira física	Fronteira de utilização de energia	Depende do cenário de oferta de energia
		Fronteira do lote de terreno	Depende do cenário de oferta de energia
		Fronteira de proximidade	Não considerada
	Condições de fronteira	Funcionalidade	Habitação unifamiliar
		Eficácia do espaço	0,024 habitantes/m <sup>2</sup>
		Condições climáticas	Zona climática V3 e I1
		Padrões de conforto	T <sub>b</sub> =18°C (aquecimento) T <sub>b</sub> =25°C (arrefecimento)
Sistema de ponderação	Métrica		Depende do balanço (energia primária, emissões de CO <sub>2</sub> , políticas nacionais)
	Indicador de desempenho energético		Para cada cenário são determinados todos os indicadores apresentados na secção 5.2.2.
	Simetria do sistema de ponderação		Depende do balanço (simétrico ou assimétrico)
Balanço NZEB	Período do balanço		Anual
	Tipo de Balanço		Para cada cenário é realizado um balanço liquido, balanço carga/geração e balanço exportação vs importação <sup>9</sup>
	Eficiência Energética		Os requisitos de eficiência energética e a oferta de energia dependem do cenário considerado
	Oferta de energia		
	Características de compatibilidade temporal		Uma vez que não são conhecidos os perfis de consumo e geração, não foi possível a avaliação de tais características.

Seguidamente, nas Tabelas 15 e 16, respetivamente, são apresentados os fatores de energia primária total e não-renovável e os coeficientes de emissões de CO<sub>2</sub> associados à utilização de energia primária utilizados nos balanços de energia realizados para o edifício alvo de estudo.

<sup>8</sup> Em todos os cenários foram, no mínimo, consideradas as utilizações de energia da fronteira de balanço base. Em alguns cenários foram consideradas adicionalmente outras utilizações.

<sup>9</sup> Uma vez que não são conhecidos os perfis de consumo dos utilizadores do edifício alvo do estudo, o balanço importação vs exportação foi realizado considerando que 30% do consumo é coberto por energia produzida no local.

Tabela 15 – Fatores de energia primária total e não-renovável [kWh<sub>EP</sub>/kWh] utilizados no cálculos dos balanços de energia para o edifício alvo de estudo

	Europa (EN 15603:2008)		Portugal (Despacho 15793-D)		Portugal (cálculos apresentados na secção 6.5 – 2013) <sup>[1]</sup>	
	Não renovável	Total	Não renovável	Total	Não renovável	Total
Gás natural	1,36	1,36	1,00		1,00	
Biomassa	0,06	1,06	0,00 <sup>[2]</sup>	1,00	0,00	1,00
Eletricidade	3,14	3,31	2,50		0,99	1,88
Energia Térmica (renovável)			1,00		1,00	

[1] Os cálculos do fator de energia primária apresentados na secção 6.5 foram realizados apenas para a energia elétrica, pelo que os fatores de energia primária utilizados neste cenário para os restantes vetores energéticos são os apresentados no Despacho 15793-D.

[2] Embora não seja explícito no despacho 15793-D, o fator de energia não-renovável para a biomassa em Portugal é zero: a contribuição da biomassa é sempre descontada na totalidade das necessidades de energia primária, o que equivale a considerar um fator de energia primária não-renovável igual a zero.

Tabela 16 – Coeficientes de emissões de CO<sub>2</sub> associadas à utilização de energia primária [kg CO<sub>2</sub>/kWh] utilizados no cálculos dos balanços de energia para o edifício alvo de estudo

	Europa (EN 15603:2008)	Portugal (Despacho 15793-D)
Gás natural	0,277	0,202
Biomassa	0,004	0,00
Eletricidade	0,617	0,144
Energia Térmica (renovável)		0,00

## 7.4 Cenários de oferta de energia

Na presente secção serão apresentados os diferentes cenários de oferta de energia que serão considerados na análise do desempenho energético do edifício em estudo.

Para cada cenário, consideram-se duas situações: uma em que o rendimento dos sistemas técnicos instalados no edifício corresponde ao requisito mínimo segundo a legislação portuguesa (cenário A) e outra em que a classe de eficiência energética dos sistemas técnicos é máxima (cenário B).

Na secção 7.4.6 é apresentada uma tabela com os sistemas técnicos instalados para suprir as necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS em cada um dos cenários e a respetiva eficiência energética.

### 7.4.1 Cenário sem sistemas de energia renovável

No primeiro cenário considerou-se que não existem sistemas de produção de energia renovável no edifício residencial. As necessidades de energia útil para aquecimento e para produção de AQS são supridas por uma caldeira a gás natural.

Segundo a Portaria nº 349-B/2013, o requisito mínimo de eficiência energética de caldeiras a combustível líquido ou gasoso, após 31 de Dezembro de 2015, é a classe de eficiência energética A, a qual corresponde a caldeiras com um rendimento nominal entre 89% (exclusive) e 92% (inclusive) (Tabela I.16 da Portaria nº 349-B/2013). Assim sendo, para o cenário A considerou-se que a caldeira utilizada para produção de energia térmica para aquecimento ambiente e produção de AQS tem um rendimento de 90%, de forma a cumprir o requisito mínimo de eficiência energética.

No cenário B considerou-se que os sistemas técnicos instalados nos edifícios pertencem à classe de eficiência energética máxima: considerou-se que a caldeira a gás natural tem um rendimento de 96% (classe A<sup>++</sup>).

#### **7.4.2 Cenário com coletor solar**

Neste cenário considera-se que são instalados dois coletores solares (Vulcano FCC-1S) para cobrir parte do consumo de energia para produção de AQS. O contributo dos coletores foi estimado recorrendo ao *software* SOLTERM (desenvolvido pelo LNEG), definindo as obstruções do horizonte como 20°, a inclinação dos coletores em 20° e a orientação Sul. Os coletores contribuem com 13,60 kWh/(m<sup>2</sup>ano), sendo a restante fração das necessidades de energia para produção de AQS cobertas pela caldeira. As necessidades de energia para aquecimento são supridas pela caldeira a gás natural, tal como no cenário apresentado na secção 7.4.1.

Também neste caso foram considerados dois cenários: o cenário A em que a caldeira tem um rendimento de 90% (requisito mínimo de eficiência energética) e o cenário B, em que a caldeira tem um rendimento de 96% (classe energética máxima).

#### **7.4.3 Cenário com coletor solar e caldeira a biomassa**

Neste cenário considera-se que a caldeira a gás natural é substituída por uma caldeira a biomassa. Assim sendo, as necessidades de energia para aquecimento são supridas pela caldeira a biomassa e parte das necessidades de energia para produção de AQS são supridas pelo coletor solar e o restante pela caldeira a biomassa.

Segundo a Portaria nº 349-B/2013, o requisito mínimo para caldeiras que utilizem biomassa como combustível sólido é uma eficiência de 0,75 no caso de lenha e 0,85 no caso de granulados. Relativamente às caldeiras a combustível sólido não existe uma escala de classificação energética, apenas a imposição do requisito mínimo para a eficiência das caldeiras. Assim sendo, para o cenário A considerou-se uma caldeira com uma eficiência de 0,75 (lenha) e para o cenário B considerou-se uma caldeira com uma eficiência de 0,85 (granulados).

#### **7.4.4 Cenário com coletor solar e bomba de calor**

Neste cenário considera-se a utilização de uma bomba de calor reversível. Esta bomba é utilizada na estação de aquecimento, substituindo a caldeira a biomassa. As necessidades de energia para produção de AQS são supridas pelo coletor solar e com o apoio da bomba de calor.

Para os sistemas de ar condicionado, bombas de calor com ciclo reversível e *chillers* de arrefecimento, o requisito mínimo de eficiência após 31 de Dezembro de 2015 é a classe energética B. No caso de unidades *split*, *multisplit* e *VRF* com permuta exterior a ar, tal corresponde a um COP entre 3,40 (exclusive) e 3,60 (inclusive) (Tabela I.11 da Portaria nº 349-B/2013). Assim sendo, para o cenário A considerou-se que a bomba de calor apresenta um COP igual a 3,41 de modo a cumprir o requisito mínimo de eficiência energética.

No cenário B considerou-se que a bomba de calor pertence à classe de eficiência energética máxima (classe A), apresentando um COP de 3,70.

#### 7.4.5 Cenário com coletor solar, bomba de calor e painel solar fotovoltaico

Neste cenário considera-se que é instalado um painel solar fotovoltaico com uma potência de 3,68 kWh para suprir determinada fração das necessidades de energia elétrica (a qual varia com o tipo de balanço realizado). A energia produzida pelo painel fotovoltaico foi estimada recorrendo ao *software* PVGIS, definindo uma tecnologia de silicone cristalino, uma inclinação de 35°, orientação Sul e perdas do sistema de 14% (utilizando as coordenadas geográficas apresentadas na Tabela 12). A produção anual de energia elétrica do painel fotovoltaico instalado no edifício é de 5750 kWh/ano, o que corresponde a 35,2 kWh/(m²ano) para o edifício alvo de estudo.

As necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento são supridas pela bomba de calor, tal como no cenário anterior (7.4.4). No entanto, neste cenário a energia elétrica utilizada pela bomba de calor é, sempre que possível, produzida pelo painel fotovoltaico. Apenas quando a produção do painel fotovoltaico não é suficiente para cobrir a procura de energia elétrica da bomba de calor, é que se recorre à importação de energia elétrica da infraestrutura energética. As necessidades de energia para produção de AQS são supridas pelo coletor solar e, quando necessário, com o apoio da bomba de calor, tal como no cenário anterior.

#### 7.4.6 Resumo dos cenários de abastecimento energético considerados

Tabela 17 – Cenários de abastecimento energético

		Aquecimento		Produção de AQS	
Cenário 1	A	Caldeira a gás natural	$\eta = 90\%$	Caldeira a gás natural	$\eta = 90\%$
	B		$\eta = 96\%$		$\eta = 96\%$
Cenário 2	A	Caldeira a gás natural	$\eta = 90\%$	Coletor solar + caldeira a gás natural	$\eta = 90\%$
	B		$\eta = 96\%$		$\eta = 96\%$
Cenário 3	A	Caldeira a biomassa	$\eta = 75\%$	Coletor solar + caldeira a biomassa	$\eta = 75\%$
	B		$\eta = 85\%$		$\eta = 85\%$
Cenário 4	A	Bomba de calor <sup>[1]</sup>	COP = 3,41	Coletor solar + bomba de calor <sup>[1]</sup>	COP = 3,41
	B		COP = 3,70		COP = 3,70
Cenário 5	A	Bomba de calor <sup>[2]</sup>	COP = 3,41	Coletor solar + bomba de calor (+ PV) <sup>[2]</sup>	COP = 3,41
	B		COP = 3,70		COP = 3,70

[1] A energia elétrica produzida pela bomba é importada da rede

[2] A energia elétrica utilizada pela bomba de calor é, sempre que possível, produzida pelo painel fotovoltaico. Apenas nas alturas em que a produção do painel não é suficiente para cobrir a carga exigida pela bomba, recorre-se à importação de energia da rede para cobrir o défice de carga.

## 8. Apresentação e Análise dos Resultados

### 8.1 Balanço do ponto de vista da fonte (*Source Energy Balance*)

Tal como já foi referido anteriormente, este balanço é caracterizado pela aplicação de fatores de ponderação, os quais dependem da métrica escolhida, aos fluxos energéticos relevantes para o balanço: a procura (carga, carga líquida ou energia importada) e a oferta (geração, geração líquida ou energia exportada). Os balanços são realizados com base num sistema de ponderação simétrico, isto é, para cada vetor energético, é aplicado o mesmo fator de ponderação à procura e à oferta de energia.

Neste balanço considerou-se que a fronteira de balanço é a de base (ver Tabela 14). Primeiramente, foram realizados três tipos de balanço (balanço carga vs geração, balanço líquido e balanço energia importada vs energia exportada) para cada um dos 10 cenários de oferta de energia apresentados na secção 7.4 (Tabela 17) com base numa classificação de energia primária total. É de notar que, uma vez que não são conhecidos os perfis de consumo e geração, o balanço de energia importada vs energia exportada foi calculado considerando um índice de REF (*Renewable Energy Fraction Index*) de 30% para o sistema PV, o qual corresponde ao valor obtido num estudo relativamente a três edifícios (sendo um deles localizado em Portugal) com base numa resolução de dados de 10 minutos (Voss *et al.*, 2010). Os balanços foram realizados utilizando os três conjuntos de fatores de energia primária total apresentados na Tabela 15: Europa (EN 15603:2008), Portugal (Despacho 15793-D/2013) e Portugal (valores determinados na secção 6.5, para o ano de 2013). Os resultados dos balanços são apresentados nas tabelas seguintes (Tabelas 18, 19 e 20).

No Anexo IV é apresentada a metodologia utilizada para calcular os balanços, utilizando como exemplo o balanço com base nos fatores de energia primária recomendados pela EN 15603:2008 e considerando que os sistemas técnicos do edifício cumprem os requisitos mínimos de eficiência energética estabelecidos na Portaria n.º 349-B/2013 (cenários A).

Tabela 18 – Cálculo dos balanços de energia do ponto de vista da fonte utilizando os fatores de energia primária total recomendados pela EN 15603:2008 (Europa).

		Carga vs Geração			Balanço Líquido			Energia importada vs Energia exportada		
		Carga	Geração	Balanço	Carga Líquida	Geração Líquida	Balanço	Energia importada	Energia exportada	Balanço
1	A	67,9	0,0	-67,9	67,9	0,0	-67,9	67,9	0,0	-67,9
	B	63,7	0,0	-63,7	63,7	0,0	-63,7	63,7	0,0	-63,7
2	A	61,0	13,6	-47,4	47,4	0,0	-47,4	47,4	0,0	-47,4
	B	58,0	13,6	-44,4	44,4	0,0	-44,4	44,4	0,0	-44,4
3	A	57,9	13,6	-44,3	44,3	0,0	-44,3	44,3	0,0	-44,3
	B	52,7	13,6	-39,1	39,1	0,0	-39,1	39,1	0,0	-39,1
4	A	44,0	13,6	-30,4	30,4	0,0	-30,4	30,4	0,0	-30,4
	B	41,6	13,6	-28,0	28,0	0,0	-28,0	28,0	0,0	-28,0
5	A	44,0	130,0	86,0	0,0	86,0	86,0	21,3	107,3	86,0
	B	41,6	130,0	88,4	0,0	88,4	88,4	19,6	108,0	88,4

Tabela 19 – Cálculo dos balanços de energia do ponto de vista da fonte utilizando os fatores de energia primária total apresentados no Despacho n.º 15793-D/2013 (Portugal).

		Carga vs Geração			Balanço Líquido			Energia importada vs Energia exportada		
		Carga	Geração	Balanço	Carga Líquida	Geração Líquida	Balanço	Energia importada	Energia exportada	Balanço
1	A	49,9	0,0	-49,9	49,9	0,0	-49,9	49,9	0,0	-49,9
	B	46,8	0,0	-46,8	46,8	0,0	-46,8	46,8	0,0	-46,8
2	A	48,4	13,6	-34,8	34,8	0,0	-34,8	34,8	0,0	-34,8
	B	46,3	13,6	-32,7	32,7	0,0	-32,7	32,7	0,0	-32,7
3	A	55,4	13,6	-41,8	41,8	0,0	-41,8	41,8	0,0	-41,8
	B	50,5	13,6	-36,9	36,9	0,0	-36,9	36,9	0,0	-36,9
4	A	36,6	13,6	-23,0	23,0	0,0	-23,0	23,0	0,0	-23,0
	B	34,8	13,6	-21,2	21,2	0,0	-21,2	21,2	0,0	-21,2
5	A	36,6	101,5	64,9	0,0	64,9	64,9	16,1	81,0	64,9
	B	34,8	101,5	66,7	0,0	66,7	66,7	14,8	81,6	66,7

Tabela 20 – Cálculo dos balanços de energia do ponto de vista da fonte utilizando o fator de energia primária total para a eletricidade determinado na secção 6.5 (Portugal).

		Carga vs Geração			Balanço Líquido			Energia importada vs Energia exportada		
		Carga	Geração	Balanço	Carga Líquida	Geração Líquida	Balanço	Energia importada	Energia exportada	Balanço
1	A	49,9	0,0	-49,9	49,9	0,0	-49,9	49,9	0,0	-49,9
	B	46,8	0,0	-46,8	46,8	0,0	-46,8	46,8	0,0	-46,8
2	A	48,4	13,6	-34,8	34,8	0,0	-34,8	34,8	0,0	-34,8
	B	46,3	13,6	-32,7	32,7	0,0	-32,7	32,7	0,0	-32,7
3	A	55,4	13,6	-41,8	41,8	0,0	-41,8	41,8	0,0	-41,8
	B	50,5	13,6	-36,9	36,9	0,0	-36,9	36,9	0,0	-36,9
4	A	30,9	13,6	-17,3	17,3	0,0	-17,3	17,3	0,0	-17,3
	B	29,5	13,6	-15,9	15,9	0,0	-15,9	15,9	0,0	-15,9
5	A	30,9	79,7	48,8	0,0	48,8	48,8	12,1	60,9	48,8
	B	29,5	79,7	50,2	0,0	50,2	50,2	11,2	61,3	50,2

Nesta análise existem quatro variáveis: o tipo de balanço, o cenário de oferta de energia, a eficiência energética dos sistemas técnicos do edifício e os fatores de energia primária. Seguidamente, será analisado o efeito que a variação de cada um destes critérios tem no balanço energético. É de salientar que nesta análise com base em balanços de energia pretende-se que o resultado seja o mais positivo possível.

### Tipo de balanço

Analisando os resultados apresentados nas Tabelas 18, 19 e 20 verifica-se que, admitindo que os outros três critérios (eficiência energética, cenário de oferta de energia e fatores de energia primária) não variam, o resultado final do balanço é o mesmo, independentemente do tipo de balanço utilizado. De

facto, tais resultados são concordantes com o que é referido na secção 5.3.2e): Aquando a consideração de um sistema de ponderação simétrico, a diferença entre os tipos de balanço reside apenas na quantidade de geração renovável local que é utilizada para consumo próprio ou “virtualmente” considerada como consumo próprio. Para clarificar tal análise, foi construído o gráfico da Figura 42, o qual representa os resultados dos balanços calculados para o cenário de oferta 5-A, utilizando os fatores de energia primária aplicados em Portugal:

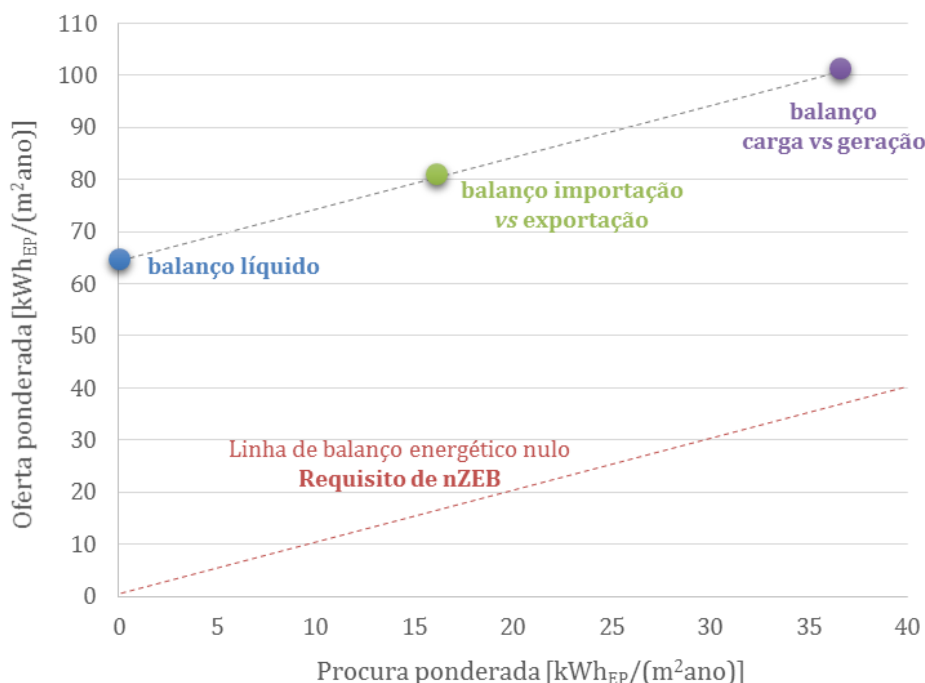


Figura 42 – Representação gráfica dos resultados dos diferentes tipos de balanço realizados para o cenário 5-A, utilizando os fatores de energia primária em vigor em Portugal (Despacho n.º 15793-D/2013).

O ponto representativo do balanço líquido, o qual considera um «consumo próprio virtual» máximo, é o que se encontra mais próximo da origem, em conformidade com o que foi referido na secção 5.3.2e). Neste caso, encontra-se no eixo das ordenadas, uma vez que a geração líquida é superior à carga líquida (caso a carga fosse superior à geração, o ponto seria representado no eixo das abcissas). O ponto representativo do balanço carga vs geração, o qual considera o consumo próprio nulo, é o mais afastado da origem. O balanço de energia importada vs energia exportada é representado por um ponto entre os outros dois, tal como esperado.

O balanço carga vs geração é aquele que é integrado na legislação portuguesa e recomendado pelas normas para edifícios em fase de projecto, uma vez que, na ausência de dados para determinação do balanço importação vs exportação, é aquele que fornece uma informação mais completa. Por exemplo, no mercado imobiliário, um indicador de desempenho energético determinado com base num balanço carga vs geração será mais relevante em comparação com o balanço líquido: o primeiro fornece informação relativamente à quantidade de energia efetivamente exigida pelo edifício e a geração de energia renovável, enquanto o segundo fornece apenas informação relativamente à quantidade de energia em falta para que o edifício atinja o estatuto de nZEB ou ao excedente de energia produzida, caso o edifício seja um *Plus ZEB*. É de notar que a informação dada pelo balanço carga vs geração pode ser complementada com o indicador de fração de energia primária, *RER*.

## Cenário de oferta de energia

Como seria de esperar, o balanço mais negativo corresponde ao cenário 1 (sem sistemas de energia renovável) uma vez que não existe geração de energia para «compensar» a importação. Conforme se adicionam sistemas de energia renovável ao edifício, o balanço fica mais positivo: do cenário 1 para o cenário 2, em que é adicionado o coletor solar; e do cenário 4 para o cenário 5, em que é adicionado o painel solar fotovoltaico.

## Eficiência Energética

Tal como já foi referido anteriormente, para cada cenário foram consideradas duas situações: Uma em que a eficiência dos sistemas técnicos do edifício cumpre os requisitos mínimos de acordo com a legislação portuguesa (cenários A) e outro em que os sistemas pertencem à classe máxima de eficiência energética (cenários B). Analisando os resultados apresentados nas Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20, verifica-se que o aumento da eficiência energética dos sistemas técnicos torna o balanço mais positivo, ou seja, o balanço do cenário B é em todos os casos mais positivo que o balanço do cenário A. A diferença entre os balanços dos cenários A e B é consequência de uma redução de carga, ou seja, uma vez que os sistemas técnicos são mais eficientes, a quantidade de energia final necessária para cobrir as necessidades de energia útil será menor. De facto, analisando as Tabelas 18, 19 e 20, conclui-se que apenas o valor da procura ponderada é alterado do cenário A para o cenário B, sendo que não há alterações relativamente à oferta.

A Tabela 21 foi construída com o objetivo de avaliar a variação do impacto da eficiência energética dos sistemas técnicos do edifício em função dos fatores de energia primária utilizados. Para cada cenário e para cada conjunto de fatores de energia primária, procedeu-se ao cálculo da diferença entre os resultados dos balanços para os cenários A e B. A análise foi realizada para todos os tipos de balanço (carga vs geração, balanço líquido e importação vs exportação), sendo que os resultados foram os mesmos para os três tipos de balanço.

Tabela 21 – Diferença entre os resultados dos balanços para os cenários A e B (calculada para os diferentes cenários de oferta e conjuntos de fatores de energia primária).

Cenário	Diferença entre os resultados dos balanços para os cenários A e B [kWh/(m²ano)]		
	Europa (EN 15603)	Portugal (15793-D)	Portugal (secção 6.5)
1	4,2	3,1	3,1
2	3,0	2,2	2,2
3	5,2	4,9	4,9
4	2,4	1,8	1,4
5	2,4	1,8	1,4



Fator de energia primária aumenta

Como se verifica na Tabela 21, o que se ganha com o aumento da eficiência energética dos sistemas técnicos do edifício é cada vez menor quanto menor o fator de energia primária utilizado. Tais resultados são coerentes com aquilo que é referido na secção 6.5.5: Com base num sistema de ponderação simétrico, a utilização de equipamentos eficientes tem um maior impacto no balanço energético quanto mais elevado for o fator de energia primária. Por esta razão, a redução dos fatores de energia primária



pode ter um efeito negativo na evolução da eficiência energética dos sistemas técnicos do edifício, ou seja, reduz o incentivo para um consumo energético mais eficiente. É de notar que o impacto do aumento da eficiência energética é sempre positivo, independentemente dos fatores de energia primária utilizados, sendo que diferença reside na intensidade de tal impacto.

Notas: Os valores referentes ao cenário 3 (caldeira a biomassa + coletor solar) são mais elevados porque a diferença entre o rendimento da caldeira a biomassa do cenário A para o cenário B é a mais relevante (de 75% para 85%); relativamente aos dois conjuntos de fatores de energia primária referentes a Portugal, estes só diferem nos cenários 4 e 5, pois são aqueles em que o fator de energia primária para a eletricidade é relevante.

### Fatores de energia primária

A Tabela 22 foi construída com o objetivo de analisar o impacto dos fatores de energia primária utilizados no balanço. Tal como já foi referido anteriormente, o resultado final do balanço é independente do tipo de balanço utilizado (aquando da utilização de um sistema de ponderação simétrico). Por uma questão de simplificação da análise, considerou-se apenas os cenários do tipo A.

Tabela 22 – Resultados dos balanços para os cenários do tipo A (calculada para os diferentes cenários de oferta e conjuntos de fatores de energia primária).

Cenário	Resultado dos balanços - Cenário A [kWh/(m <sup>2</sup> ano)		
	Europa (EN 15603)	Portugal (15793-D)	Portugal (secção 6.5)
1	-67,9	-49,9	-49,9
2	-47,4	-34,8	-34,8
3	-44,3	-41,8	-41,8
4	-30,4	-23,0	-17,3
5	86,0	64,9	48,8

  
Fator de energia primária aumenta

Analisando os resultados apresentados na Tabela 22, verifica-se que para os cenários 1 a 4 o resultado do balanço é tanto mais positivo quanto menor for o fator de energia primária utilizado. No entanto, para o cenário 5, o único cenário em que a oferta é superior à procura, verifica-se o contrário: o resultado do balanço é tanto mais positivo quanto maior for o fator de energia primária utilizado. Tais resultados são coerentes com aquilo que é referido na secção 6.5.5: Com base num sistema de ponderação simétrico, quanto menor o fator de energia primária, menor o impacto que a produção local de eletricidade renovável tem no balanço. Tal verifica-se quando existe excesso de produção, ou seja, quando há exportação de energia renovável: a redução do fator de energia primária implica que a energia exportada “pese” menos no balanço, o que diminui a atratividade dos sistemas de geração local, de forma que a redução do fator de energia primária poderá ter um efeito negativo na evolução de sistemas de energia renovável.

Seguidamente, foram calculados os indicadores estabelecidos no relatório da REHVA (2013): o indicador de energia primária ( $I_p$ ), o indicador de emissões de CO<sub>2</sub> ( $I_{CO_2}$ ) e a fração de energia renovável (RER). Para tal, foram utilizadas as equações (5), (6) e (7), respetivamente (ver secções 5.2.2b), c) e d),

respetivamente). É de notar que tais indicadores são calculados com base num balanço entre energia importada e energia exportada e o indicador de energia primária é determinado utilizando fatores de energia primária não-renováveis.

Os indicadores foram determinados para cada um dos 10 cenários de oferta de energia apresentados na secção 7.4 (Tabela 17). O indicador de energia primária foi determinado para cada um dos três conjuntos de fatores de energia primária não-renovável apresentados na Tabela 15. O indicador de emissões de CO<sub>2</sub> foi determinado para cada um dos dois conjuntos de coeficientes de emissões de CO<sub>2</sub> apresentados na Tabela 16. Os resultados são apresentados na Tabela 23. No Anexo IV é apresentada a metodologia utilizada para calcular os indicadores, utilizando como exemplo o balanço com base nos fatores de energia primária recomendados pela EN 15603:2008 e considerando que os sistemas técnicos do edifício cumprem os requisitos mínimos de eficiência energética estabelecidos na Portaria n.º 349-B/2013 (cenários A).

Tabela 23 – Cálculo do indicador de energia primária (não-renovável), indicador de emissões de CO<sub>2</sub> e fração de energia renovável, considerando diferentes cenários de oferta de energia e diferentes fatores de energia primária e coeficientes de emissões de CO<sub>2</sub>.

		EN 15603 (Europa)			Despacho 15793-D/2013 (Portugal)			Cálculos, secção 6.5 (Portugal)		
		Indicador de energia primária	Indicador de emissões de CO <sub>2</sub>	Fracção de energia renovável	Indicador de energia primária	Indicador de emissões de CO <sub>2</sub>	Fracção de energia renovável	Indicador de energia primária	Indicador de emissões de CO <sub>2</sub>	Fracção de energia renovável
1	A	67,9	13,8	0,0%	49,9	10,1	0,0%	49,9	10,1	0,0%
	B	63,7	13,0	0,0%	46,8	9,5	0,0%	46,8	9,5	0,0%
2	A	47,4	9,6	22,3%	34,8	7,0	28,1%	34,8	7,0	28,1%
	B	44,4	9,0	23,4%	32,7	6,6	29,4%	32,7	6,6	29,4%
3	A	2,5	0,2	95,7%	0,0	0,0	100,0%	41,8	0,0	24,5%
	B	2,2	0,1	95,8%	0,0	0,0	100,0%	36,9	0,0	26,9%
4	A	28,9	5,7	56,4%	23,0	1,3	60,9%	9,1	1,3	82,8%
	B	26,6	5,2	58,8%	21,2	1,2	63,2%	8,4	1,2	84,0%
5	A	-81,6	-16,0	-478,9%	-64,9	-3,7	1171,6%	-25,7	-3,7	346,1%
	B	-83,8	-16,5	-434,6%	-66,7	-3,8	1440,2%	-26,5	-3,8	358,0%

Com base nos resultados apresentados na Tabela 23, foi realizada uma análise comparativa entre três geradores de energia térmica: a caldeira a gás natural, a caldeira a biomassa e a bomba de calor (cenários 2-A, 3-A e 4-A, para os quais a contribuição do coletor solar é igual). Os resultados de tal análise são apresentados nos gráficos das Figura 43.

Numa análise quer a nível de energia primária não-renovável como a nível de emissões de CO<sub>2</sub>, verifica-se que a solução mais atrativa é a caldeira a biomassa. Note-se que, aquando da análise a nível de energia primária total (ver Tabelas 18 a 20), a caldeira a biomassa obtém uma “pontuação” mais negativa relativamente à caldeira a gás natural, uma vez que o rendimento da primeira é inferior ao rendimento da segunda.

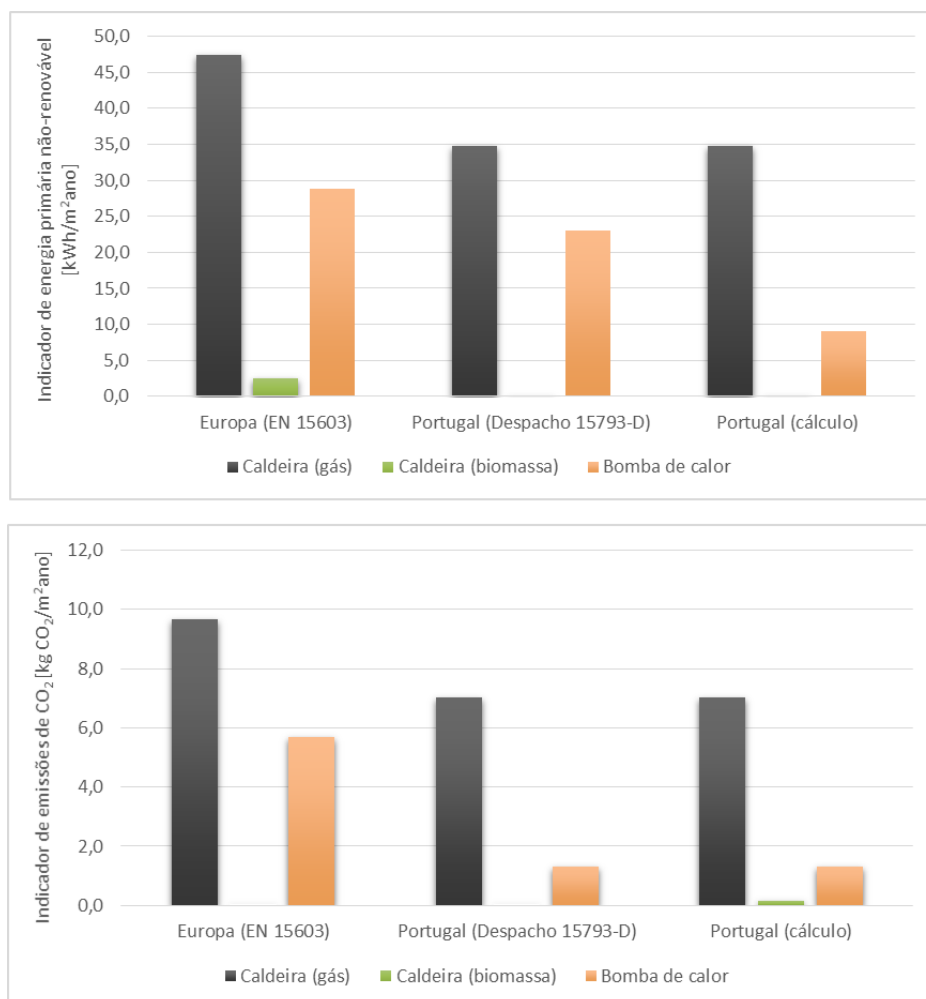


Figura 43 – Comparação entre o indicador de energia primária não-renovável e indicador de emissões de CO<sub>2</sub> para cenários de oferta baseados em diferentes sistemas de produção de energia térmica (com apoio de um coletor solar): caldeira a gás natural, caldeira a biomassa e bomba de calor, com base em diferentes fatores de energia primária não-renovável e coeficientes de CO<sub>2</sub>.

Analisando a variação do indicador de energia primária não-renovável para o cenário da bomba de calor induzida a eletricidade, verifica-se que tal solução se torna mais atrativa à medida que o fator de energia primária para a energia elétrica diminui. Tal resultado encontra-se em conformidade com a discussão apresentada na secção 6.5.5: a redução do fator de energia primária pode funcionar como um estímulo para a eletrificação do sistema energético dos edifícios.

Ainda relativamente ao cenário da bomba de calor, verifica-se que a diferença entre o indicador calculado com os fatores em vigor em Portugal ou com os fatores recomendados pela EN 15603, é bastante superior no caso do indicador de emissões CO<sub>2</sub> (em comparação com o indicador de energia primária não-renovável). Tal leva a crer que, apesar de a elevada penetração de renováveis no *mix* elétrico português não ser considerada na determinação do fator de energia primária (tal como foi discutido na secção 6.4), é possível que seja contabilizada na determinação do coeficiente de emissões de CO<sub>2</sub> associado à energia elétrica, o que explicaria a valor reduzido face ao valor global para a Europa.

Verifica-se também que existe uma correlação negativa muito forte ( $R^2=0,92$ ) entre o indicador de emissões de CO<sub>2</sub> e a fração de energia renovável, ou seja, cenários que apresentam um indicador de emissões de CO<sub>2</sub> reduzido têm normalmente uma fração de energia renovável elevada. O gráfico da Figura 44 (construído com base nos valores da Tabela 23) ilustra tal correlação:

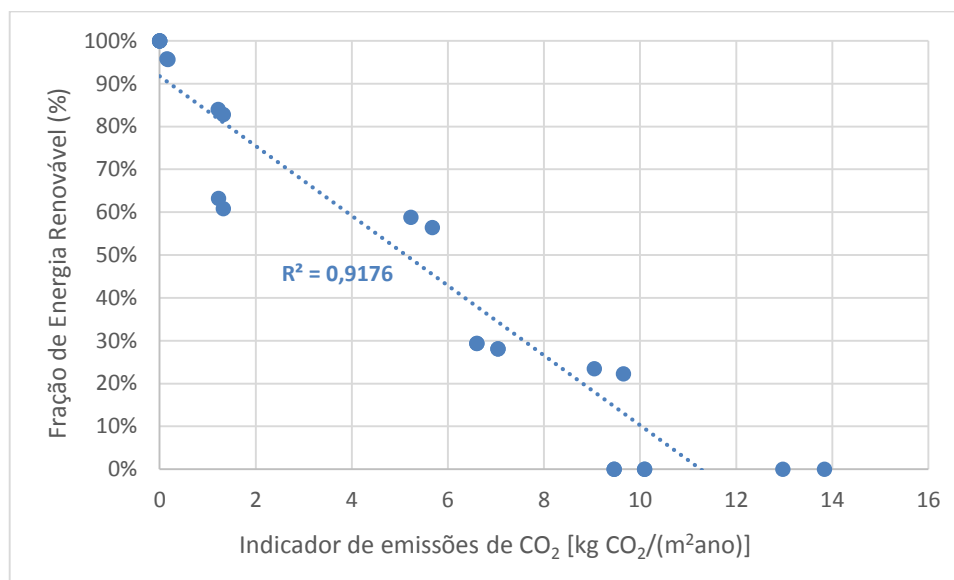


Figura 44 – Relação entre o indicador de emissões de CO<sub>2</sub> e a fração de energia renovável.

Esta correlação negativa entre o indicador de emissões de CO<sub>2</sub> e a fração de energia renovável faz sentido, uma vez que os vetores energéticos de origem renovável são aqueles aos quais estão associadas emissões de CO<sub>2</sub> mais reduzidas.

É de notar que para a elaboração do gráfico não foram utilizados os valores obtidos para o cenário 5 uma vez que, tal como se verifica na Tabela 23, tais valores são irrealisticamente elevados ou, em alguns casos, negativos (entre -478,9% e 1440,2%). De facto, analisando a equação de cálculo da fração de energia renovável apresentada no relatório da REHVA (2013), verifica-se que a mesma não é aplicável em determinados casos:

$$RER = \frac{\sum_i E_{ren,i} + \sum_i (f_{imp,tot,i}^p - f_{nren,tot,i}^p) E_{imp,i}}{\sum_i E_{ren,i} + \sum_i (E_{imp,i} f_{imp,tot,i}^p) - \sum_i (E_{exp,i} f_{exp,tot,i}^p)}$$

O denominador é dado pela soma da produção local de energia renovável com a diferença entre a energia importada e a energia exportada, ambas ponderadas com fatores de energia primária total. Assim sendo, quando a energia exportada excede a energia importada (ponderadas), o balanço  $\sum_i (E_{imp,i} f_{imp,tot,i}^p) - \sum_i (E_{exp,i} f_{exp,tot,i}^p)$  será negativo e, consequentemente, o denominador será inferior ao numerador, obtendo-se uma percentagem superior a 100%. Em alguns casos, tal balanço pode ainda ser superior à energia renovável produzida no local: uma vez que à energia renovável exportada é aplicado o fator de energia primária total (que para a eletricidade é normalmente bastante elevado) e à energia consumida no local não é, caso o consumo próprio seja muito reduzido pode acontecer que o balanço ponderado entre energia importada e exportada ultrapasse a geração de energia renovável. Nesse caso, o

denominador toma valores negativos, pelo que o valor do índice RER será também negativo. Verifica-se que tal acontece no balanço com base nos fatores recomendados pela EN 16503, o qual utiliza os fatores de energia primária mais elevados para a energia elétrica.

Assim sendo, os resultados obtidos para cenários em que a exportação ponderada ultrapasse a procura ponderada não são fidedignos, sendo que a equação utilizada para cálculo da fração de energia primária renovável deve ser submetida a processo de revisão.

Seguidamente, foi aplicada a metodologia em vigor em Portugal para determinar o indicador de desempenho energético ( $R_{Nt}$ ) e a respetiva classe energética do edifício (ver secção 5.2.2a). O cálculo do indicador  $R_{Nt}$  é determinado com base num balanço carga *vs* geração, em que, no entanto, não é contabilizada a energia exportada. De facto, na metodologia aplicada em Portugal, é contabilizada apenas a produção de energia renovável que é consumida no local (é de notar que, uma vez que o balanço é realizado entre carga e geração, este consumo próprio contabilizado não é o real, mas o designado de «consumo próprio virtual»). A metodologia foi aplicada aos 10 cenários de oferta de energia para dois casos: considerando os fatores de energia primária total em vigor em Portugal e considerando o fator de energia primária para a energia elétrica calculado na secção 6.5. Os resultados são apresentados na Tabela 24:

		Portugal (Despacho 15793-D)				Portugal (cálculos, secção 6.5)			
Cenário		$N_{te}$	$N_t$	$R_{Nt}$	Classe energética	$N_{te}$	$N_t$	$R_{Nt}$	Classe energética
1	A	49,94	89,58	0,56	B	49,94	89,58	0,56	B
	B	46,82		0,52		46,82		0,52	
2	A	34,83		0,39	A	34,83		0,39	A
	B	32,66		0,36		32,66		0,36	
3	A	41,80		0,47		41,80		0,47	
	B	36,88		0,41		36,88		0,41	
4	A	22,98		0,26	A+	17,28		0,19	A+
	B	21,18		0,24		15,93		0,18	
5	A	0,00		0,00		0,00		0,00	
	B	0,00		0,00		0,00		0,00	

Tabela 24 – Determinação do indicador de desempenho energético aplicado e da classe energética, com base na metodologia utilizada em Portugal (Despacho 15793-J) considerando diferentes cenários de oferta de energia.

Verifica-se que apenas os cenários 4 e 5 obtêm um indicador de desempenho energético ( $R_{Nt}$ ) suficientemente elevado para alcançar a classe energética máxima (A+). É importante notar que a redução do fator de energia primária para a energia elétrica (do valor em vigor em Portugal, 2.5, para o valor determinado no capítulo 6.5 com base em argumentos exclusivamente científicos, 1.88) tem como consequência a redução do indicador de desempenho energético para os cenários 4-A e 4-B, sendo que tal redução tem impacto na classificação energética do cenário 4-A (a classe energética evolui de A para A+). A redução do fator de energia primária não tem qualquer impacto nos cenários 5, uma vez que o indicador não pode tomar valores negativos (pois não é contabilizada a energia exportada).

Tal como já foi referido anteriormente, a metodologia é aplicada com base em fatores de energia primária total. Assim sendo, os resultados obtidos nesta análise estão em conformidade com os

resultados obtidos nos balanços das Tabela 18 a Tabela 20. Em ambas as análises, os resultados mais positivos correspondem aos cenários com sistemas elétricos.

De facto, analisando as Tabelas 18 a 20, o único cenário em que foi possível alcançar o requisito de NZEB foi o cenário 5 (bomba de calor + painel PV + coletor solar), uma vez que é o único cenário em que existe produção de energia renovável que pode ser exportada, de modo a compensar a importação de energia.

Uma vez que o edifício não se encontra conectado a redes de aquecimento ou arrefecimento urbano, não é possível exportar energética térmica, pelo que a produção de energia do coletor solar só reduz a carga do edifício. Assim sendo, o aumento da potência instalada (do coletor solar) não será solução para alcançar o requisito de NZEB: a partir de certo ponto, o aumento da potência instalada só irá aumentar a energia desperdiçada, uma vez que produzir-se-ia energia térmica em excesso, a qual não poderia ser exportada. Além disso, caso exista algum sistema técnico elétrico no edifício, nunca será possível alcançar o balanço nulo apenas com o coletor solar, uma vez que será necessário recorrer à importação de energia elétrica da rede, a qual não poderá ser compensada por exportação de energia. O balanço torna-se ainda mais exigente caso seja integrado na fronteira de balanço o consumo energético relacionado com dispositivos (eletrodomésticos, tomadas, etc.), em que não haverá alternativa senão importar eletricidade. Assim sendo, conclui-se que, com base numa análise de energia primária **total**, na ausência de redes térmicas (o que corresponde à situação da grande maioria dos edifícios em Portugal), é necessária a instalação de um sistema electroprodutor (neste caso, o painel fotovoltaico) para alcançar o requisito de NZEB.

Numa análise de energia primária **não-renovável**, a melhor solução é a caldeira a biomassa. No entanto, é de salientar que, caso o consumo relacionado com dispositivos seja integrado na fronteira de balanço, tal solução (sem apoio de um sistema electroprodutor) não permite alcançar um requisito de NZEB, uma vez que não há exportação de energia.

## 8.2 Balanço assimétrico

Num balanço assimétrico, os fatores de ponderação aplicados à procura e à oferta são diferentes. Neste caso, vai ser calculado um balanço em que a energia importada “pesa” mais que a energia exportada. Enquanto no balanço simétrico o edifício só necessita de devolver à rede a energia final que lhe é entregue, neste balanço o edifício terá que devolver toda a energia primária necessária para a rede fornecer tal quantidade de energia ao edifício (energia primária incorporada na energia importada). Tal é equivalente a não aplicar qualquer fator de ponderação à oferta de energia.

Foram realizados os três tipos de balanço (balanço carga vs geração, balanço líquido e balanço energia importada vs energia exportada) para cada um dos 10 cenários de oferta de energia apresentados na secção 7.4 (Tabela 17). Os balanços foram realizados utilizando os três conjuntos de fatores de energia primária total apresentados na Tabela 15: Europa (EN 15603:2008), Portugal (Despacho 15793-D/2013) e Portugal (valores determinados na secção 6.5, para o ano de 2013). Tal como já foi referido, os fatores foram apenas aplicados à procura de energia. Os resultados dos balanços são apresentados nas tabelas seguintes (Tabelas 25, 26 e 27).

Tabela 25 – Cálculo dos balanços de energia assimétricos utilizando os fatores de energia primária total recomendados pela EN 15603:2008 (Europa) para a procura de energia. À oferta não é aplicado qualquer fator

		Carga vs Geração			Balanço Líquido			Energia importada vs Energia exportada		
		Carga	Geração	Balanço	Carga Líquida	Geração Líquida	Balanço	Energia importada	Energia exportada	Balanço
1	A	67,9	0,0	-67,9	67,9	0,0	-67,9	67,9	0,0	-67,9
	B	63,7	0,0	-63,7	63,7	0,0	-63,7	63,7	0,0	-63,7
2	A	61,0	13,6	-47,4	47,4	0,0	-47,4	47,4	0,0	-47,4
	B	58,0	13,6	-44,4	44,4	0,0	-44,4	44,4	0,0	-44,4
3	A	57,9	13,6	-44,3	44,3	0,0	-44,3	44,3	0,0	-44,3
	B	52,7	13,6	-39,1	39,1	0,0	-39,1	39,1	0,0	-39,1
4	A	44,0	13,6	-30,4	30,4	0,0	-30,4	30,4	0,0	-30,4
	B	41,6	13,6	-28,0	28,0	0,0	-28,0	28,0	0,0	-28,0
5	A	44,0	48,8	4,7	0,0	26,0	26,0	21,3	32,4	11,1
	B	41,6	48,8	7,1	0,0	26,7	26,7	19,6	32,6	13,0

Tabela 26 – Cálculo dos balanços de energia assimétricos utilizando os fatores de energia primária total apresentados no Despacho n.º 15793-D/2013 (Portugal) para a procura de energia. À oferta não é aplicado qualquer fator.

		Carga vs Geração			Balanço Líquido			Energia importada vs Energia exportada		
		Carga	Geração	Balanço	Carga Líquida	Geração Líquida	Balanço	Energia importada	Energia exportada	Balanço
1	A	49,9	0,0	-49,9	49,9	0,0	-49,9	49,9	0,0	-49,9
	B	46,8	0,0	-46,8	46,8	0,0	-46,8	46,8	0,0	-46,8
2	A	48,4	13,6	-34,8	34,8	0,0	-34,8	34,8	0,0	-34,8
	B	46,3	13,6	-32,7	32,7	0,0	-32,7	32,7	0,0	-32,7
3	A	55,4	13,6	-41,8	41,8	0,0	-41,8	41,8	0,0	-41,8
	B	50,5	13,6	-36,9	36,9	0,0	-36,9	36,9	0,0	-36,9
4	A	36,6	13,6	-23,0	23,0	0,0	-23,0	23,0	0,0	-23,0
	B	34,8	13,6	-21,2	21,2	0,0	-21,2	21,2	0,0	-21,2
5	A	36,6	48,8	12,2	0,0	26,0	26,0	16,1	32,4	16,3
	B	34,8	48,8	14,0	0,0	26,7	26,7	14,8	32,6	17,8

Tabela 27 – Cálculo dos balanços de energia assimétricos utilizando o fator de energia primária total para a eletricidade determinado na secção 6.5 (Portugal) para a procura de energia. A oferta de energia não é aplicado qualquer fator de ponderação.

		Carga vs Geração			Balanço Líquido			Energia importada vs Energia exportada		
		Carga	Geração	Balanço	Carga Líquida	Geração Líquida	Balanço	Energia importada	Energia exportada	Balanço
1	A	49,9	0,0	-49,9	49,9	0,0	-49,9	49,9	0,0	-49,9
	B	46,8	0,0	-46,8	46,8	0,0	-46,8	46,8	0,0	-46,8
2	A	48,4	13,6	-34,8	34,8	0,0	-34,8	34,8	0,0	-34,8
	B	46,3	13,6	-32,7	32,7	0,0	-32,7	32,7	0,0	-32,7
3	A	55,4	13,6	-41,8	41,8	0,0	-41,8	41,8	0,0	-41,8
	B	50,5	13,6	-36,9	36,9	0,0	-36,9	36,9	0,0	-36,9
4	A	30,9	13,6	-17,3	17,3	0,0	-17,3	17,3	0,0	-17,3
	B	29,5	13,6	-15,9	15,9	0,0	-15,9	15,9	0,0	-15,9
5	A	30,9	48,8	17,9	0,0	26,0	26,0	12,1	32,4	20,3
	B	29,5	48,8	19,2	0,0	26,7	26,7	11,2	32,6	21,5

Comparando as Tabelas 25 a 27 com as Tabelas 18 a 20, verifica-se que a aplicação do balanço assimétrico só tem impacto nos resultados para os cenários 5. Uma vez que a única diferença entre o balanço simétrico e o balanço assimétrico aplicado no presente caso de estudo é o fator de ponderação para a energia exportada, faz sentido que a única diferença resida no cenário em que há exportação de energia. Assim sendo, apenas estes resultados serão analisados. Por uma questão de simplificação da organização, a Tabela 28 apresenta apenas os resultados obtidos para os cenários 5.

Tabela 28 – Cálculo dos balanços de energia assimétricos para os cenários de oferta 5-A e 5-B

		Carga vs Geração			Balanço Líquido			Energia importada vs Energia exportada		
		Carga	Geração	Balanço	Carga Líquida	Geração Líquida	Balanço	Energia importada	Energia exportada	Balanço
Europa (EN 15603)	5A	44,0	48,8	4,7	0,0	26,0	26,0	21,3	32,4	11,1
	5B	41,6	48,8	7,1	0,0	26,7	26,7	19,6	32,6	13,0
Portugal (15793-D)	5A	36,6	48,8	12,2	0,0	26,0	26,0	16,1	32,4	16,3
	5B	34,8	48,8	14,0	0,0	26,7	26,7	14,8	32,6	17,8
Portugal (cálculos)	5A	30,9	48,8	17,9	0,0	26,0	26,0	12,1	32,4	20,3
	5B	29,5	48,8	19,2	0,0	26,7	26,7	11,2	32,6	21,5

Analisando os resultados na verifica-se que, ao contrário do que acontece com o balanço simétrico, neste caso o resultado é dependente do tipo de balanço utilizado. Os resultados mais positivos são obtidos para o balanço líquido, o que está em conformidade com a sua designação na literatura de «cenário mais otimista». Os resultados menos positivos são obtidos para o balanço carga vs geração, daí a sua designação de «cenário mais pessimista». A diferença dos resultados obtidos para cada tipo de balanço deve-se à quantidade de geração renovável local que é utilizada para consumo próprio ou “virtualmente” considerada como consumo próprio: No balanço líquido, assume-se compatibilidade de 100% entre os



perfis de carga e geração, ou seja, o consumo-próprio é máximo. Assim sendo, não é necessário recorrer à importação de energia, a qual “pesa” mais no balanço. No balanço carga vs geração, assume-se que os perfis de carga e geração são incompatíveis, pelo que o consumo-próprio é nulo. Assim sendo, toda a carga tem que ser coberta por energia importada da rede. Embora a quantidade de energia exportada seja superior comparativamente com o balanço líquido, neste tipo de balanço a energia exportada não tem tanto valor como a energia importada, pelo que o resultado final é menos positivo. No balanço de energia importada vs energia exportada, assumiu-se uma compatibilidade de carga de 30% e, como seria de esperar, o resultado final encontra-se entre os resultados dos outros dois balanços.

Para clarificar tal análise, foi construído o gráfico da Figura 45, o qual representa os resultados dos balanços calculados para o cenário de oferta 5-A, utilizando os fatores de energia primária aplicados em Portugal, em função da compatibilidade de carga:

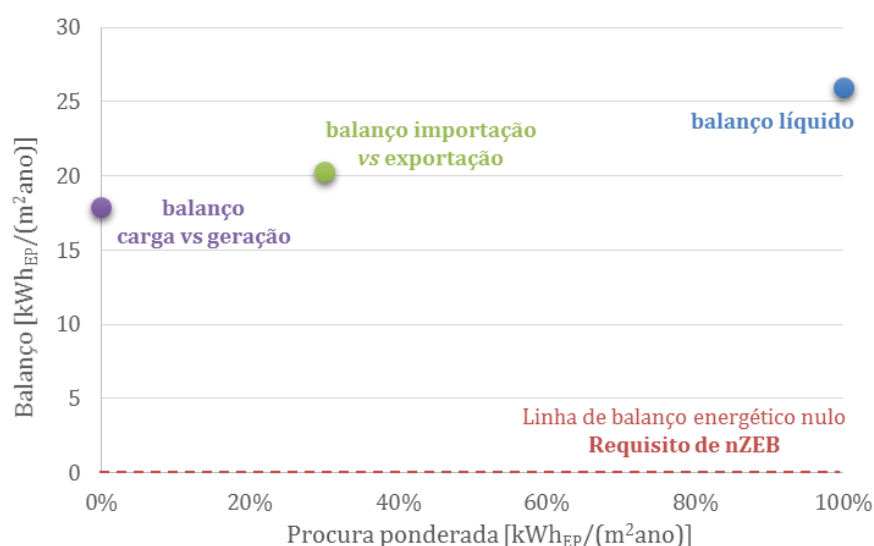


Figura 45 – Representação gráfica dos resultados dos diferentes tipos de balanço realizados para o cenário 5-A, utilizando os fatores de energia primária em vigor em Portugal (Despacho n.º 15793-D/2013), em função da compatibilidade de carga (índice REF).


Analisando o gráfico, verifica-se que o resultado do balanço é mais positivo quanto mais elevada for a compatibilidade entre os perfis de carga e geração e, consequentemente. Tais resultados encontram-se em conformidade com aquilo que é referido na secção 5.2.3b): um balanço assimétrico em que não é aplicado um fator de energia primária à exportação de energia incentiva o consumo-próprio de energia renovável produzida localmente e a redução da interação com a rede, ou seja, devido ao elevado “custo” da energia importada, o balanço é mais fácil de atingir quanto maior for a compatibilidade entre a carga e a geração.

É de notar que para o balanço líquido obteve-se o mesmo resultado para todos os conjuntos de fatores de energia primária: uma vez que no balanço líquido se considera que a compatibilidade de carga é máxima, no cenário 5 não é necessário recorrer à importação de energia da rede (pois a geração excede a carga). Uma vez que não é aplicado fator de ponderação à energia exportada, o resultado é o mesmo independentemente do cenário de fatores escolhido.

A Tabela 29 foi construída com o objetivo de analisar o impacto dos fatores de energia primária utilizados no balanço.

Tabela 29 – Resultados do balanço importação vs exportação para os cenários 5-A e 5-B (calculados para os diferentes conjuntos de fatores de energia primária).

Cenário	Resultado do balanço (energia importada vs energia exportada)		
	Europa (EN 15603)	Portugal (15793-D)	Portugal (secção 6.5)
5A	11,1	16,3	20,3
5B	13,0	17,8	21,5

  
 Fator de energia primária aumenta

Analisando os resultados apresentados na Tabela 29, verifica-se que o resultado do balanço é tanto mais positivo quanto menor o fator de energia primária utilizado, ao contrário dos resultados obtidos com o balanço simétrico (em que para o cenário 5, o balanço é mais positivo quanto maior o fator de energia primária). Assim sendo, conclui-se que um sistema de ponderação assimétrico corrige o efeito negativo na evolução de sistemas de energia renovável associado ao sistema simétrico.

### 8.3 Balanço assimétrico com contabilização da energia incorporada no edifício e nos sistemas de energia renovável (Método de *payback*)

Tal como já foi referido anteriormente, o fundamento do método de *payback* é que, para garantir que a procura de energia primária líquida seja nula, toda a energia primária necessária em cada etapa do ciclo de vida tem que ser devolvida à infraestrutura energética. Assim sendo, no método de *payback*, para além da energia primária incorporada na energia importada, é também contabilizada a energia primária incorporada nos sistemas de produção de energia renovável e nos materiais do próprio edifício.

Este método foi aplicado aos três tipos de balanço (balanço carga vs geração, balanço líquido e balanço energia importada vs energia exportada) para os cenários 5-A e 5-B, com o objetivo de verificar se, considerando toda a energia primária necessária no seu ciclo de vida, o edifício continua a atingir o balanço nulo.

Uma vez que não são conhecidos os valores reais da energia incorporada no edifício e nos sistemas de energia renovável, considerou-se que o fator de energia primária incorporada no edifício é de 40% (valor em conformidade com o estudo apresentado por M. Hall, 2012) e o fator de energia primária incorporada nos SER é de 10% (valor em conformidade com o caso de estudo apresentado em *Bourelle et al.*, 2013).

Os resultados dos balanços são apresentados na tabela seguinte:

Tabela 30 – Resultados do balanço com base no método de *payback* para os cenários 5A e 5B

	Cenário	Carga vs geração	Balanço Líquido	Importação vs Exportação
Europa (EN 15603)	5A	-3,8	17,4	2,6
	5B	-1,1	18,4	4,7
Portugal (15793-D)	5A	3,6	17,4	7,8
	5B	5,7	18,4	9,5
Portugal (secção 6.5)	5A	9,3	17,4	11,8
	5B	11,0	18,4	13,2

É de notar que aplicando o método de *payback*, o balanço torna-se mais exigente, uma vez que os resultados são menos positivos comparativamente aos resultados obtidos com base no balanço simétrico e no balanço assimétrico sem contabilização da energia incorporada no edifício e nos SER. No entanto, apenas os cenários 5-A e 5-B com base num balanço de carga vs geração utilizando os fatores de energia primária recomendados pela EN 15603 deixa de ser considerado NZEB aquando da aplicação do método de *payback*.

O gráfico da Figura 46 foi construído para uma análise comparativa entre os três métodos apresentados: balanço do ponto de vista da fonte (sistema de ponderação simétrico), sistema de ponderação assimétrico (sem aplicação de fator de ponderação à energia exportada) e método de *payback* (sistema de ponderação assimétrico com contabilização de energia primária incorporada no edifício e nos sistemas de energia renovável).

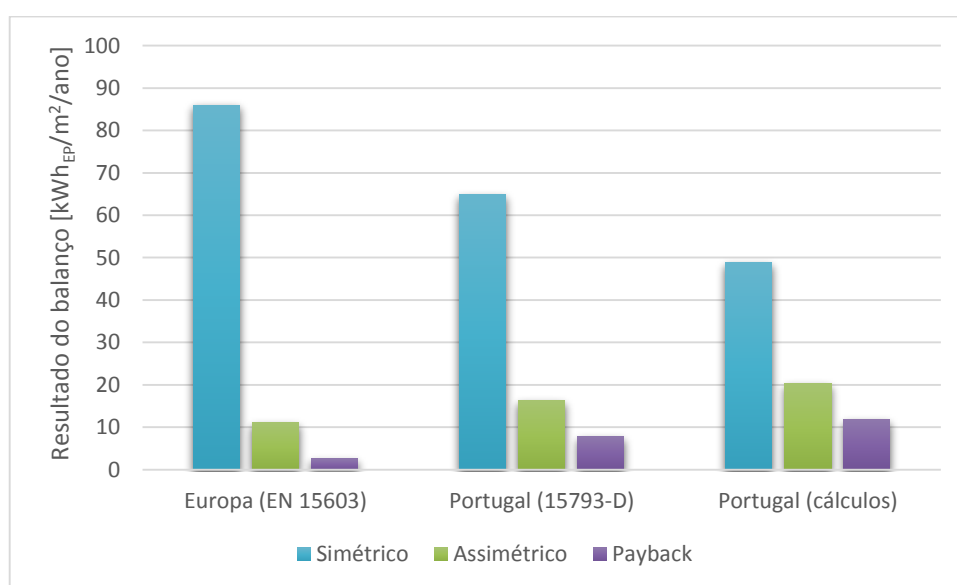


Figura 46 - Análise comparativa entre os três métodos apresentados

Analisando o gráfico, torna-se claro que os balanços com base num sistema de ponderação assimétrico são mais difíceis de alcançar em comparação com os balanços com base num sistema simétrico, uma vez que, como seria de esperar, ao contabilizar a energia incorporada na energia importada, nos edifícios e nos SER, o balanço torna-se mais exigente. No entanto, apenas com base no método de *payback* é garantido que a energia primária líquida exigida pelo edifício é nula. De facto, o investimento energético nos materiais e nos sistemas de energia renovável pode ser bastante significativo, especialmente em edifícios com elevada eficiência energética e produção local. Consequentemente, a importância da energia incorporada nos materiais e nos sistemas técnicos aumenta e torna-se importante incluí-la no balanço no âmbito dos NZEB como edifícios sustentáveis.

Além disso, tal como já foi referido anteriormente, com base num balanço simétrico, a redução do fator de energia primária reduz o incentivo à instalação de sistemas de energia renovável: analisando o gráfico verifica-se que o resultado do balanço simétrico torna-se menos positivo à medida que o fator de energia primária diminui. Aquando da aplicação de um sistema assimétrico, o resultado do balanço é tanto maior quanto menor o fator de energia primária.

## 9. Conclusão

Relativamente à avaliação do desempenho energético de um edifício, a reformulação da EPBD visa uma abordagem comum com espaço para diferenciação: os princípios gerais que fornecem o conjunto de requisitos de desempenho energéticos e os seus objetivos devem ser estabelecidos a nível da Comunidade; no entanto, de forma a respeitar os princípios de subsidiariedade e proporcionalidade, os pormenores de implementação devem ser deixados a cargo de cada Estado-Membro, permitindo assim que cada um escolha o regime que melhor corresponde à sua situação particular (*Buildings Platform*, 2008).

Uma vez que não existe uniformidade em relação ao método a utilizar, o mesmo edifício pode ou não ser considerado um NZEB dependendo da metodologia utilizada. O principal objetivo do presente documento foi a avaliação do desempenho energético de um edifício residencial (localizado em Évora, Portugal) com base em diferentes metodologias e a verificação do cumprimento de requisito de NZEB dependendo da metodologia utilizada. As diferentes metodologias aplicadas diferem a vários níveis: fronteira de balanço (utilizações de energia consideradas no balanço), sistema de ponderação (simétrico ou assimétrico), tipo de balanço (carga *vs* geração, balanço líquido, energia importada *vs* energia exportada), métrica (energia primária total, energia primária não-renovável, emissões de CO<sub>2</sub>, considerações de natureza política ou económica, etc.), eficiência energética dos sistemas técnicos do edifício e cenário de oferta de energia.

Foram feitas testadas várias combinações de cenários, de modo a analisar o efeito que a variação de cada um destes critérios tem no balanço. Foram obtidos resultados dentro de uma vasta gama de valores: entre -67,9 e 88,4 kWh<sub>EP</sub>/(m<sup>2</sup>ano).

Em relação ao tipo de balanço, com base num sistema de ponderação simétrico, o resultado final do balanço é independente do tipo de balanço utilizado (carga *vs* geração, balanço líquido ou importação *vs* exportação). No entanto, com base num sistema de ponderação assimétrico em que não é aplicado fator de ponderação à oferta, o resultado final depende do tipo de balanço utilizado. Os resultados mais positivos são obtidos para o balanço líquido, o que está em conformidade com a sua designação na literatura de «cenário mais otimista». Os resultados menos positivos são obtidos para o balanço carga *vs* geração, daí a sua designação de «cenário mais pessimista». A diferença dos resultados obtidos para cada tipo de balanço deve-se à quantidade de geração renovável local que é utilizada para consumo próprio ou “virtualmente” considerada como consumo próprio: o resultado do balanço é mais positivo quanto mais elevada for a compatibilidade entre perfis de carga e geração e, consequentemente, a geração de energia renovável que é utilizada para consumo local.

O balanço de energia importada *vs* energia exportada é o cenário mais realista, no entanto, requer a disponibilidade de estimativa do consumo próprio, a qual é bastante variável e depende dos perfis temporais de consumo dos utilizadores, sendo difícil de prever na fase de projeto.

Na ausência de dados para determinação do balanço importação *vs* exportação, o balanço de carga *vs* geração é aquele que é recomendado pelas normas para edifícios em fase de projeto, uma vez que é aquele que fornece uma informação mais completa. Por exemplo, no mercado imobiliário, um indicador de desempenho energético determinado com base num balanço carga *vs* geração será mais relevante em comparação com o balanço líquido: o primeiro fornece informação relativamente à quantidade de energia efetivamente exigida pelo edifício e a geração de energia renovável, enquanto o segundo fornece apenas informação relativamente à quantidade de energia em falta para que o edifício atinja o estatuto de NZEB ou ao excedente de energia produzida, caso o edifício seja um *Plus ZEB*. É de notar que a informação dada pelo balanço carga *vs* geração pode ser complementada com o indicador de fração de energia primária, RER.

Relativamente à eficiência energética dos sistemas técnicos, em todos os cenários considerados, o cenário do tipo B (com sistemas pertencentes à classe máxima de eficiência energética) obteve um resultado mais positivo comparativamente ao cenário do tipo A (com sistemas técnicos que cumprem os requisitos mínimos de acordo com a legislação portuguesa). Conclui-se portanto que o aumento da eficiência energética dos sistemas técnicos torna o balanço mais positivo, através da redução da procura de energia: sendo os sistemas técnicos mais eficientes, a quantidade de energia final necessária para cobrir as necessidades de energia útil será menor.

Verificou-se também que, considerando um sistema de ponderação simétrico, a redução do fator de energia primária pode ter um efeito negativo na evolução da eficiência energética dos sistemas técnicos do edifício, ou seja, reduz o incentivo para um consumo energético mais eficiente (uma vez que deixa de ser tão “grave” importar energia). Assim sendo, a utilização de um fator de energia primária reduzido deve ser acompanhado de requisitos mínimos de eficiência energética, de modo a prevenir que edifícios ineficientes atinjam o estatuto de NZEB.

No entanto, a redução do fator de energia primária pode funcionar como um incentivo à eletrificação do sistema energético dos edifícios: os cenários que utilizam a bomba de calor (cenários 4 e 5) são mais positivos quanto mais reduzido é o fator de energia primária para a energia elétrica.

Em relação à métrica utilizada, verificou-se que tal influencia muito significativamente os resultados finais: por exemplo, realizando uma análise a nível de energia primária total (com base nos fatores de energia primária em vigor em Portugal), o cenário com caldeira a biomassa é aquele que obtém uma “pontuação” mais negativa, uma vez que a caldeira a biomassa tem um rendimento inferior ao da caldeira a gás natural (e ao COP da bomba de calor). No entanto, numa análise quer a nível de energia primária não-renovável como a nível de emissões de CO<sub>2</sub>, verifica-se que a solução mais atrativa é a caldeira a biomassa. Verifica-se também que existe uma correlação negativa muito forte ( $R^2=0,92$ ) entre o indicador de emissões de CO<sub>2</sub> e a fração de energia renovável, ou seja, cenários que apresentam um indicador de emissões de CO<sub>2</sub> reduzido têm normalmente uma fração de energia renovável elevada. Esta correlação negativa faz sentido, uma vez que os vetores energéticos de origem renovável são aqueles aos quais estão associadas emissões de CO<sub>2</sub> mais reduzidas.

Em relação à fração de energia renovável (RER), verificou-se que a equação apresentada no relatório da REHVA (2013) para determinação de tal índice não é aplicável a cenários em que a oferta ponderada seja superior à procura ponderada, uma vez que para tais cenários foram obtidos resultados irrealistas, pelo que a equação deve ser submetida a processo de revisão.

Relativamente aos cenários de oferta de energia, verifica-se que apenas os cenários 4 e 5 (cenários com bomba de calor) obtêm um indicador de desempenho energético ( $R_{Nt}$ ) suficientemente elevado para alcançar a classe energética máxima ( $A^+$ ), de acordo com a metodologia aplicada em Portugal (com base em fatores de energia primária total). Os resultados obtidos nesta análise estão em conformidade com os resultados obtidos nos restantes balanços com base em energia primária, em que os resultados mais positivos correspondem aos cenários com sistemas elétricos. De facto, o único cenário em que foi possível alcançar o requisito de NZEB foi o cenário 5 (bomba de calor + painel PV + coletor solar), uma vez que é o único cenário em que existe produção de energia renovável que pode ser exportada, de modo a compensar a importação de energia.

Uma vez que o edifício não se encontra conectado a redes de aquecimento ou arrefecimento urbano, não é possível exportar energia térmica, pelo que a produção de energia do coletor solar só reduz a carga do edifício. Assim sendo, o aumento da potência instalada (do coletor solar) não será solução para alcançar o requisito de NZEB: a partir de certo ponto, o aumento da potência instalada só irá aumentar a energia desperdiçada, uma vez que produzir-se-ia energia térmica em excesso, a qual não poderia ser exportada. Além disso, caso exista algum sistema técnico elétrico no edifício, nunca será possível alcançar o

balanço nulo apenas com o coletor solar, uma vez que será necessário recorrer à importação de energia elétrica da rede, a qual não poderá ser compensada por exportação de energia. O balanço torna-se ainda mais exigente caso seja integrado na fronteira de balanço o consumo energético relacionado com dispositivos (eletrodomésticos, tomadas, etc.), em que não haverá alternativa senão importar eletricidade. Assim sendo, conclui-se que, com base numa análise de energia primária, na ausência de redes térmicas (o que corresponde à situação da grande maioria dos edifícios em Portugal), é necessária a instalação de um sistema electroprodutor (neste caso, o painel fotovoltaico) para alcançar o requisito de NZEB.

Numa análise de energia primária não-renovável ou de emissões de CO<sub>2</sub>, a melhor solução é a caldeira a biomassa. No entanto, é de salientar que, caso o consumo relacionado com dispositivos seja integrado na fronteira de balanço, tal solução (sem apoio de um sistema electroprodutor) não permite alcançar um requisito de NZEB, uma vez que não há exportação de energia.

Relativamente ao sistema de ponderação assimétrico sem aplicação de fator de ponderação à energia exportada, além do que já foi referido acima (que a aplicação de tal balanço favorece os cenários em que o consumo-próprio é mais elevado), conclui-se que a aplicação de tal sistema corrige o efeito negativo na evolução de sistemas de energia renovável associado ao sistema simétrico: desta forma, os cenários com elevada oferta de energia obtêm resultados mais positivos quanto menor o fator de energia primária. No entanto, um balanço com base num sistema de ponderação assimétrica é mais difícil de alcançar (uma vez que não basta o edifício devolver a energia que lhe foi fornecida, mas toda a energia primária necessária para a rede fornecer essa mesma quantidade de energia).

A contabilização da energia incorporada dos sistemas de energia renovável e nos materiais do próprio edifício (método de *payback*) torna o balanço ainda mais exigente. No entanto, apenas com base neste método é garantido que a energia primária líquida exigida pelo edifício é efetivamente nula. De facto, o investimento energético nos materiais e nos sistemas de energia renovável pode ser bastante significativo, especialmente em edifícios com elevada eficiência energética e produção local. Consequentemente, a importância da energia incorporada nos materiais e nos sistemas técnicos aumenta e torna-se importante incluí-la no balanço no âmbito dos NZEB como edifícios sustentáveis.

## 10. Referências

- ADENE (2012); *EPBD (recast) e as implicações para Portugal; Net Zero Energy Buildings Conference*.
- Beretta, G.P. & Iora, P. & Ghoniem, A.F. (2012); *Novel approach for fair allocation of primary energy consumption among cogenerated energy-intensive products based on the actual local area production scenario*; Energy and Buildings 44 (2012) 1107-1120.
- Bourelle, J.S. & Andresen, I. & Gustavsen, A. (2013); *Energy payback: an attributional and environmentally focused approach to energy balance in net zero energy buildings*; Energy and Buildings 65 (2013) 84-92
- BPIE (2015); *Nearly Zero Energy Buildings definitions across Europe* (Factsheet)
- Decreto-Lei n.º 118/2013 (e respetivas Portarias e Despachos):
- Portaria n.º 349-B/2013: Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)
- Despacho n.º 15793-D/2013 (Fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária).
- Despacho n.º 15793-F/2013 (Parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados).
- Despacho n.º 15793-I/2013 (Metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária).
- Despacho n.º 15793-H/2013 (Regras de quantificação e contabilização do contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis, de acordo com o tipo de sistema).
- Despacho n.º 15793-J/2013 (Regras de determinação de classe energética).
- Diretiva 2002/31/CE (2002) do Parlamento Europeu e do Conselho; *Energy Performance of Buildings Directive*; Jornal da União Europeia.
- Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho (2010); *Energy Performance of Buildings Directive* (reformulação); Jornal Oficial da União Europeia.
- EN 15603 (2008); *Energy performance of buildings: Overall energy use and definition of energy ratings*; Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas
- European Council for an Energy Efficient Economy (eceee) *Understanding (the very European concept of) Nearly Zero-Energy Buildings* (2014).
- Gonçalves, H. & Graça, J.M. (2004); *Conceitos Bioclimáticos para os edifícios em Portugal*; DGGE/IP-3E; Lisboa.
- Groeziinger, J. & Boermans, T. & John, A. & Seehusen, J. & Wehringer, F. & Scherberich, M (2014) *Overview of Member States information on NZEBs – Working version of the progress report – final report*; Ecofys

- Hall, M. (2012); *One year Minergiw-A-Switzerlands big step towards net ZEB*, ZEMCH 2012 International Conference, Glasgow, UK, 2012.
- Kurnitski, J. (2013); *Nearly Zero-Energy Building's (nZEB) definitions and assessment boundaries*.
- Kurnitski J. (ed.) (2013); *REHVA nZEB technical definition and system boundaries for nearly zero energy buildings: 2013 revision for uniformed national implementation of EPBD recast prepared in cooperation with European standardization organization CEN*.
- Molenbroek, E. & Stricker, E. & Boermans, T. (2011); *Primary energy factors for electricity in buildings: toward a flexible electricity supply*; Ecofys.
- REHVA *nZEB technical definition and system boundaries for nearly zero energy buildings* (2013).
- Santos, C. (2013); *Certificação energética de edifícios solares passivos: edifícios residenciais*; Tese de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Sartori, I. & Napolitano, A. & Voss, K. (2012); *Net zero energy buildings: a consistent definition framework*; Energy and Buildings 48 (2012) 220-232.
- Torcellini, P. & Pless, S. & Deru, M. & Crawley, D. (2006) ; *A Critical Look at the Definition*, National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy, US.
- van Dijk, D. (2008); *Numerical indicator for the energy performance based on primary energy use and CO<sub>2</sub> emissions: procedures according to CEN standard EN 15603*; EPBD Buildings Platform, P150.
- Voss, K. & Musall, E. (2011); *Net ZeroEnergy Buildings – International Projects on Carbon Neutrality in Buildings*, DETAIL, ISBN-978-3-0346-0780-3, Munich.
- Voss, K. & Musall, E. & Napolitano, A. & Geier, S. & Hall, M. & Karlsson, B. & Heiselberg, P. & Widen, J. & Candanelo, J.A. & Torcellini, P (2010); *Load matching and grid interaction of net zero energy buildings*, in: Proceedings of EuroSun 2010, Graz, AT.
- Widen, J. & Wäckelgard, E. & Lund, P. (2009); *Options for improving the load matching capability of distributed photovoltaics; Methodology and application to high-latitude data*, Solar Energy (83) 1953-1966.
- Climaespaço: [www.climaespaço.pt](http://www.climaespaço.pt) (consultado em Setembro de 2015).
- Cogen Portugal: [www.cogenportugal.com](http://www.cogenportugal.com) (consultado em Outubro de 2015).
- Direção Geral de Energia e Geologia (DGE): [www.dgeg.pt](http://www.dgeg.pt) (consultado em Outubro de 2015).
- Edifícios e Energia: [www.edificioseenergia.pt](http://www.edificioseenergia.pt) (consultado em Novembro de 2015).
- Galp: [www.galpennergia.com](http://www.galpennergia.com) (consultado em Outubro de 2015).
- Governo de Portugal, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território: [www.portugal.gov.pt](http://www.portugal.gov.pt) (consultado em Janeiro de 2014).
- IEA (Internacional Energy Agency): [www.iea.org](http://www.iea.org) (consultado em Outubro de 2014).



## Anexo I: Definições de nZEB aplicadas pelos Estados-Membros

### Alemanha (DE)

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB na Alemanha encontra-se em desenvolvimento pelo Governo Federal, com apoio científico e considerações económicas. O desenvolvimento de tal definição foca-se nas «*KfW efficiency houses*», que são atualmente financiadas na Alemanha. Estas habitações são classificadas em 3 categorias: *KfW efficiency* 40, 55 e 70, sendo que o número se refere ao consumo de energia primária anual como percentagem relativamente ao consumo de um edifício novo de referência, de acordo com os requisitos do Regulamento de Conservação de Energia em vigor. Por exemplo, uma *KfW efficiency house* 70 não consome mais que 70% do consumo de energia primária anual do edifício de referência correspondente. (Ecofys, 2014; eceee, 2014).

- **Indicador de Energia Primária:**

Tenciona-se que para edifícios residenciais, o consumo de energia primária seja inferior a 40% do consumo do edifício de referência correspondente (*KfW efficiency* 40) no caso de edifícios novos e inferior a 55% (*KfW efficiency* 55) no caso de edifícios existentes sujeitos a grande intervenção.

Não existem ainda valores estabelecidos para edifícios não residenciais (BPIE, 2015).

- **Quota-parte de energia renovável:**

Na Alemanha já existem requisitos mínimos de energia renovável estabelecidos para todos os edifícios, os quais são regulamentados pela *Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz*. O edifício tem que cumprir pelo menos um dos seguintes requisitos, relativamente às necessidades de energia para aquecimento:

- Energia solar: pelo menos 15% das necessidades de energia para aquecimento.
- Biomassa: pelo menos 50% das necessidades de energia para aquecimento, no caso de biomassa no estado sólido ou líquido; ou pelo menos 30% no caso de biomassa no estado gasoso.
- Energia geotérmica ou aquecimento a partir de fontes de calor do meio ambiente: pelo menos 50% das necessidades de energia para aquecimento.
- À falta de tais opções, pode ser utilizada energia térmica de resíduos, CHP e medidas de conservação de energia.

São permitidas combinações das fontes de energia renováveis acima referidas.

### Áustria (AT)

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB (Niedrigstenergiehäuser) é estabelecida no documento OIB Guidelines (Austrian Institute of Construction Engineering) e inclui quatro indicadores numéricos (Ecofys, 2014).

- Necessidades de energia térmica para aquecimento (HWB)
- Necessidades de energia primária (PEN)
- Emissões de CO<sub>2</sub>
- Fator de desempenho energético.

- **Indicador de Energia Primária:**

É estabelecido um valor máximo para as necessidades de energia primária (PEN) dependendo da funcionalidade do edifício (residencial ou não-residencial): Para edifícios novos, o valor limite é de 160 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para os edifícios residenciais e 170 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para edifícios não-residenciais. Para edifícios existentes submetidos a grande intervenção, os limites são 200 e 250 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para edifícios residenciais e não residenciais, respetivamente. (*Ecofys*, 2014; BPIE, 2015).

- **Quota-parte de energia renovável:**

Não foram estabelecidos requisitos relativamente à quota-parte de energia renovável explicitamente para edifícios classificados como nZEB, no entanto, já foi proposto um valor mínimo para a quota-parte de renováveis para todos os edifícios, o qual não foi ainda publicado. (BPIE, 2015).

## **Bélgica (BE)**

Existem três definições de nZEB para a Bélgica, uma para cada uma das seguintes regiões: Bruxelas-Capital, Flanders e Wallonia (*eccee*, 2014).

### **a) Região de Bruxelas - Capital**

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB para a região Bruxelas-Capital, apresentada no COBRACE (*Brussels Air Climate and Energy Code*), é a definição apresentada na Reformulação do EPBD (ver capítulo 4.2. Definição de nZEB).

- **Indicador de Energia Primária:**

Para os edifícios de habitação unifamiliares, o limite para as necessidades de energia primária é de 45 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para novas construções e 54 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para edifícios existentes sujeitos a grandes renovações. (*Ecofys*, 2014; BPIE, 2015).

Para edifícios de escritório e estabelecimentos de ensino e de serviços, o limite para as necessidades de energia primária é calculado através da expressão  $95 - 2,5 \times C$ , em que C é a compacidade do edifício, sendo que C não pode tomar valores superiores a 4 (*Ecofys*, 2014).

- **Quota-parte de energia renovável:**

Não existe um valor mínimo estabelecido para a quota-parte de renováveis. No entanto, o método de cálculo da energia primária contabiliza a energia proveniente de fontes renováveis e técnicas de arrefecimento passivo (*Ecofys*, 2014).

### **b) Região de Flanders**

- **Definição aplicada na prática:**

O requisito mais importante na definição de nZEB para a Região de Flanders é o «*E-level*», que corresponde à razão entre consumo de energia primária anual real do edifício e o consumo de um edifício de referência (*Ecofys*, 2014). Para que um edifício seja considerado um nZEB, terá que cumprir o nível de *E-level* estabelecido conforme a sua funcionalidade.

- **Indicador de Energia Primária:**

O limite para o consumo de energia primária anual de novos edifícios residenciais corresponde a 30% do consumo de energia primária do edifício de referência correspondente (o que corresponde a um *E-level* máximo de 30%) No caso de novos edifícios não residenciais, o *E-level* não poderá ultrapassar os 40%. (*Ecofys*, 2014; *BPIE*, 2015).

Não foram ainda estabelecidos requisitos para edifícios existentes sujeitos a renovações.

- **Quota-parte de energia renovável:**

Em relação à participação de energias renováveis, para os edifícios de habitação unifamiliares são previstas 6 opções: Sistemas de energia solar térmica; Sistemas de energia solar fotovoltaica; Biomassa (caldeira, fogão ou CHP); Bombas de calor; Ligação a uma rede urbana de aquecimento e/ou arrefecimento; Participação num projeto de energias renováveis. Para cada uma das opções enumeradas são impostos requisitos quantitativos e qualitativos. Existe ainda a opção de obter uma produção de energia renovável superior a 10 kWh/m<sup>2</sup> de área útil, utilizando um dos sistemas acima enumerados ou uma combinação destes.

### c) Região de Wallonia

- **Definição aplicada na prática:**

Para a região de Wallonia, a definição de nZEB encontra-se ainda em fase de desenvolvimento: Um nZEB é caracterizado (na fase de projeto) por níveis de desempenho energético equivalentes ou próximos daqueles que são exigidos pela *Passive Standard*, considerando as características da envolvente do edifício e a fração do consumo energético que é coberto por energias renováveis (*Ecofys*, 2014).

- **Indicador de Energia Primária:**

De forma semelhante ao método aplicado na região de Flanders, também na região de Wallonia serão estabelecidos requisitos relativamente ao *E-level*. No entanto, não foram ainda publicados os valores limite para o *E-level* para esta região.

- **Quota-parte de energia renovável:**

Tal como já foi referido, a quota-parte de energia renovável será um dos requisitos a cumprir para alcançar o estatuto de nZEB. No entanto, não foram estabelecidos os valores mínimos para a quota-parte de renováveis.

### Bulgária (BG)

- **Definição aplicada na prática:**

A definição encontra-se em fase de espera para aprovação e é estruturada com base em 3 requisitos (*Ecofys*, 2014):

- Consumo de energia primária, de acordo com os requisitos para pertencer à classe energética A.
- Mínimo de quota-parte de energias renováveis no balanço energético.
- Restrição da quota-parte máxima de energia elétrica no balanço energético (para edifícios com uma área superior a 500 m<sup>2</sup>).

- **Indicador de Energia Primária:**

Embora não seja estabelecido explicitamente um valor limite para o consumo de energia primária, é estabelecido que o edifício tem que cumprir a classe energética A, o que, com base nos métodos de

cálculo aplicados na Bulgária, corresponde a consumo de energia primária máximo entre 30 e 50 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para edifícios residenciais e entre 40 e 60 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para edifícios não residenciais. (*Ecofys*, 2014; *BPIE*, 2015).

- **Quota-parte de energia renovável:**

A Lei búlgara relativa às energias renováveis (ZEVI) especifica uma quota-parte de renováveis de pelo menos 15% para todos os novos edifícios (*Ecofys*, 2014).

## **Chipre (CY)**

- **Definição aplicada na prática:**

No Chipre, os requisitos para que um edifício seja classificado como nZEB baseiam-se na utilização de energia primária e na contribuição de energias proveniente de fontes renováveis.

- **Indicador de Energia Primária:**

Para edifícios residenciais novos ou submetidos a grande intervenção, o consumo de energia primária não pode ultrapassar os 100 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Para edifícios não-residenciais, o limite é de 150 kWh/(m<sup>2</sup>ano). (*BPIE*, 2015).

- **Quota-parte de energia renovável:**

Pelo menos 25% do consumo de energia primária deve ser coberto por energia proveniente de fontes renováveis (*eceee*, 2014).

## **Croácia (HR)**

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB na Croácia estabelece um valor máximo para as necessidades de energia útil para aquecimento e para as necessidades de energia primária para os novos edifícios residenciais (*Ecofys*, 2014). Relativamente a edifícios existentes submetidos a grandes renovações, não existe ainda uma definição disponível (*BPIE*, 2015).

- **Indicador de Energia Primária:**

Relativamente às necessidades de energia primária, o limite depende da localização do edifício: para edifícios novos localizados na zona continental, o valor máximo para as necessidades de energia primária é de 41 kWh/(m<sup>2</sup>ano); para a zona litoral, o limite é mais rigoroso: 33 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Para edifícios não residenciais, os valores não foram publicados (*Ecofys*, 2014; *BPIE*, 2015).

- **Quota-parte de energia renovável:**

Embora não esteja estabelecido um valor mínimo para a quota-parte de renováveis explicitamente para edifícios classificados como nZEB (*Ecofys*, 2014), a Regulamentação atualmente em vigor estabelece requisitos mínimos para todos os edifícios (*BPIE*, 2015).

## **Dinamarca (DK)**

- **Definição aplicada na prática:**

A Dinamarca estabeleceu duas classes de edifícios: A Classe 2015 consiste numa meta intermédia para edifícios novos e sujeitos a grandes renovações a partir de 2015. A Classe 2020 foi preparada com a

intenção de cumprir os requisitos da Diretiva para nZEBs. Os requisitos da Classe 2020 serão aplicados aos edifícios públicos no final de 2018 e aos restantes edifícios no final de 2020 (*Ecofys*, 2014; *eceee*, 2014).

- **Indicador de Energia Primária:**

Os edifícios de Classe 2015 (requisito obrigatório a partir de 2015) têm um consumo de energia primária inferior a 30 kWh/(m<sup>2</sup>ano), no caso de edifícios residenciais e inferior a 41 kWh/(m<sup>2</sup>ano) no caso de edifícios não-residenciais.

Os edifícios de Classe 2020 (requisito obrigatório a partir de 2019 para edifícios públicos e a partir de 2021 para os restantes edifícios) têm um consumo de energia primária inferior a 20 kWh/(m<sup>2</sup>ano), no caso de edifícios residenciais e inferior a 25 kWh/(m<sup>2</sup>ano) no caso de edifícios não-residenciais. Estes requisitos aplicam-se não apenas a novas construções mas também a edifícios existentes sujeitos a grande intervenção (*BPIE*, 2015; *eceee*, 2014).

- **Quota-parte de energia renovável:**

Embora não seja estabelecido um valor explícito para a quota-parte de energia renovável, é referido que, sendo o consumo de energia primária permitido tão reduzido, na prática será impossível para a maioria dos edifícios cumprir tal requisito sem uma contribuição significativa de renováveis.

Espera-se que a quota-parte de energia renovável no sector dos edifícios se encontre entre os 51 e os 56% em 2020. (*Ecofys*, 2014).

## **Eslováquia (SK)**

- **Definição aplicada na prática:**

Na Eslováquia, um nZEB é definido como um edifício com desempenho muito elevado. As necessidades quase nulas ou muito pequenas devem ser asseguradas com proteção térmica eficaz e uma proporção elevada de energia proveniente de fontes renováveis produzidas no edifício ou na sua proximidade (*Ecofys*, 2014; *eceee*, 2014).

A definição de nZEB baseia-se nos seguintes requisitos:

- Necessidades de energia para aquecimento: O valor limite para tais necessidades é estabelecido em função da funcionalidade do edifício.
- Consumo de energia primária: O valor limite para tal consumo é estabelecido em função da funcionalidade do edifício. É de notar que, aquando a determinação do consumo de energia primária para edifícios residenciais, não são contabilizadas as necessidades de energia para arrefecimento. (*BPIE*, 2015).
- Quota-parte de energia proveniente de fontes renováveis.

- **Indicador de Energia Primária:**

Para novos edifícios residenciais, o valor limite para o indicador de energia primária varia entre 32 e 54 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Para novos edifícios não residenciais varia entre 34 e 96 kWh/(m<sup>2</sup>ano), dependendo da sua funcionalidade (*BPIE*, 2015; *Ecofys*, 2014).

O valor máximo admissível para as necessidades de energia para aquecimento varia entre 40 e 101 kWh/(m<sup>2</sup>ano) (*Ecofys*, 2014).

Não foram encontrados dados relativos aos edifícios existentes submetidos a grandes renovações.

- **Quota-parte de energia renovável:**

A energia proveniente de fontes renováveis produzida no edifício ou nas suas proximidades deve reduzir em pelo menos 50% o consumo de energia primária.

## **Eslovénia (SI)**

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB na Eslovénia encontra-se em estado de espera para aprovação. A definição estabelece valores máximos admissíveis para as necessidades de energia primária e uma quota-parte mínima para a contribuição de energia proveniente de fontes renováveis.

- **Indicador de Energia Primária:**

Para novas construções, os valores máximos admissíveis para as necessidades de energia primária são os seguintes: 50 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para habitações unifamiliares, 45 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para habitações multifamiliares e 70 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para edifícios não-residenciais.

Para edifícios existentes submetidos a grandes renovações, os limites são os seguintes: 90 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para habitações unifamiliares, 70 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para habitações multifamiliares e 100 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para edifícios não-residenciais.

## **Espanha (ES)**

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB encontra-se ainda em desenvolvimento.

- **Indicador de Energia Primária:**

Ainda não foi estabelecido um indicador numérico de utilização de energia primária. Está previsto que a classificação de nZEB seja atribuída com base na classe energética do edifício: para que um edifício seja classificado como nZEB, terá que cumprir os requisitos estabelecidos para a classe A (BPIE, 2015).

- **Quota-parte de energia renovável:**

Embora não esteja estabelecida uma quota-parte mínima de energia renovável explicitamente para os nZEB, as normas atuais já estabelecem requisitos relativamente à quota-parte de energia renovável para todos os edifícios (BPIE, 2015).

## **Estónia (EE)**

- **Definição aplicada na prática:**

Um nZEB é um edifício que é caracterizado por soluções de engenharia adequadas, concebido com as melhores práticas de construção possíveis, que recorre a medidas de eficiência energética e tecnologias de energia renovável e com um indicador de desempenho energético superior a 0 kWh/(m<sup>2</sup>ano) mas que não ultrapasse o valor limite estabelecido para o tipo de edifício em questão (*Ecofys*, 2014).

- **Indicador de Energia Primária:**

Os requisitos relativamente às necessidades de energia primária são estabelecidos para diferentes tipos de edifícios o valor limite varia entre 50 (para edifícios residenciais pequenos) e 270 kWh/(m<sup>2</sup>ano) (para hospitais).

Os requisitos acima referidos aplicam-se a novas construções. Relativamente a edifícios existentes sujeitos a grande intervenção, não se encontram disponíveis quaisquer requisitos.

## **Finlândia (FI)**

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB na Finlândia ainda se encontra em fase de desenvolvimento e não foram encontrados dados relativamente a tal definição.

No relatório da *eceee* (2014), é referido que o objetivo é estabelecer um nível mínimo para a quota-parte de renováveis como ponto de partida e caminhar progressivamente para a implementação do requisito de nZEB.

## **França (FR)**

- **Definição aplicada na prática:**

Em França, os nZEB são designados de BBC (*Bâtiments Basse Consommation*). A RT 2012 (*Régulation Thermique*) estabeleceu requisitos mínimos de consumo de energia primária e utilização de energia renovável para novos edifícios e edifícios existentes submetidos a grandes renovações diferenciados com base na sua localização e funcionalidade. Os requisitos já se encontram em vigor desde Outubro de 2011 no caso dos edifícios públicos e desde Janeiro de 2013 no caso dos edifícios não públicos.

Para o prazo estabelecido pela Reformulação do EPBD para entrada em vigor do requisito de nZEB, o objetivo da França é o mais ambicioso: Está previsto que a partir de Janeiro de 2021, os edifícios novos e sujeitos a grandes renovações cumpram o requisito de “*Positive Energy Buildings*”, cuja definição encontra-se atualmente em desenvolvimento (*Ecofys*, 2014; *eceee*, 2014; *BPIE*, 2015).

- **Indicador de Energia Primária:**

Os limites dos BBC relativamente ao consumo de energia primária são os seguintes (*BPIE*, 2015):

- Edifícios novos residenciais: entre 40 a 65 kWh/(m<sup>2</sup>ano), dependendo da localização do edifício.
- Edifícios novos não-residenciais: entre 70 a 110 kWh/(m<sup>2</sup>ano) dependendo da localização e da funcionalidade do edifício.
- Edifícios residenciais existentes sujeitos a grande intervenção: 80 kWh/(m<sup>2</sup>ano)
- Edifícios não residenciais existentes sujeitos a grande intervenção: 60% do consumo de energia primária do edifício de referência correspondente.

- **Quota-parte de energia renovável:**

A utilização de energia renovável é um dos objetivos do TR 2012. Assim sendo, os BBC têm que utilizar energia de origem renovável, optando por pelo menos uma das seguintes (*Ecofys*, 2014):

- Produção de AQS através de painéis solares térmicos.
- Ligação a uma rede urbana de aquecimento (com uma quota-parte de renováveis mínima de 50%).
- Demonstração de que a contribuição de renováveis para o consumo de energia primária do edifício é igual ou superior a 5 kWh/(m<sup>2</sup>ano).



## Grécia (EL)

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB aplicada na Grécia encontra-se em fase de desenvolvimento e não foram encontrados dados relativamente a tal definição.

## Holanda (NL)

- **Definição aplicada na prática:**

A Holanda estabeleceu objetivos mais ambiciosos que aqueles exigidos pela reformulação do EPBD. O objetivo para todos os edifícios novos na Holanda a partir de 2021 (2019 para os edifícios públicos) é que sejam edifícios de balanço de energia nulo (NZEB) (*BPIE*, 2015; *Ecofys*, 2014).

A definição de NZEB na Holanda é baseada no Coeficiente de Desempenho Energético (EPC), que consiste num valor adimensional utilizado como indicador de desempenho energético do edifício (*Ecofys*, 2014).

- **Indicador de Energia Primária:**

Para atingir o estatuto de NZEB, o edifício tem que ter um EPC igual (ou inferior) a zero. (*BPIE*, 2015; *Ecofys*, 2014).

É de notar que futuramente serão elaborados estudos para avaliar a viabilidade da introdução de um valor mais restrito para o EPC. (*Ecofys*, 2014).

- **Quota-parte de energia renovável:**

Os projetistas são livres de optar pelas medidas que acharem mais convenientes para redução das necessidades de energia e aumento da oferta de energia *on-site*, quer seja energia proveniente de fontes renováveis ou de combustíveis fósseis, de forma a atingir o EPC exigido. No entanto, espera-se que, sendo o nível de EPC tão exigente, pelo menos parte das necessidades de energia sejam cobertas por fontes de energia renovável. Caso os requisitos para o nível de EPC se tornem mais rígidos, como está planeado, tornar-se-á ainda mais importante aumentar a quota-parte de renováveis para cumprir os requisitos.

## Hungria (HU)

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB e os respetivos requisitos serão integrada no Decreto-Lei relativo ao desempenho energético de edifícios, que se encontra atualmente em fase de desenvolvimento.

- **Indicador de Energia Primária:**

Foram já propostos limites para o consumo de energia primária em edifícios novos, dependendo da sua funcionalidade e dimensão (número de andares): o limite varia entre 50 e 72 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para edifícios residenciais e entre 60 e 115 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para edifícios não residenciais.

- **Quota-parte de energia renovável:**

Está planeado que a quota-parte de energia renovável no consumo total de energia primária seja superior a 25%.



## **Irlanda (IE)**

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB na Irlanda é estabelecida com base no indicador de utilização de energia primária e no nível BER (*Building Energy Rating*). Em relação ao último, o requisito é que todas as novas habitações atinjam, pelo menos, o nível A3 (*Ecofys*, 2014).

- **Indicador de Energia Primária:**

Além do requisito de um nível BER de A3 (ou superior), são também estabelecidos limites para a utilização de energia primária para os novos edifícios: O consumo de energia primária para as novas habitações não pode exceder os 45 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Relativamente a novos edifícios não residenciais, o consumo terá que ser inferior ou igual a 60% do consumo do edifício de referência correspondente.

Os mesmos princípios (indicador de energia primária e nível BER) serão aplicados aos edifícios submetidos a grandes renovações, no entanto, os limites não foram ainda definidos. Para edifícios residenciais, foi proposto um limite entre 75 e 150 kWh/(m<sup>2</sup>ano) de energia primária. (*Ecofys*, 2014; *BPIE*, 2015).

- **Quota-parte de energia renovável:**

De acordo com o Regulamento de Edifícios da Irlanda (S.I. n°259), uma proporção significativa do consumo energético deve ser coberta por energia proveniente de fontes renováveis. Tal proporção pode ser alcançada por uma das seguintes (*Ecofys*, 2014):

- Contribuição de 10 kWh/(m<sup>2</sup>ano) de energia térmica para climatização ou preparação de AQS,
- Contribuição de 4 kWh/(m<sup>2</sup>ano) de energia elétrica,
- Uma combinação dos dois primeiros que tenha um efeito equivalente.

## **Itália (IT)**

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB na Itália encontra-se em estado de espera para aprovação. Em caso de aprovação, um nZEB terá que cumprir os seguintes requisitos:

- Índice de desempenho energético para climatização na estação de aquecimento (inverno),
- Índice de desempenho térmico útil para climatização na estação de arrefecimento (verão), o qual inclui o controlo de humidade.
- Índice de desempenho energético global, expresso em energia primária não-renovável.
- Índice de desempenho energético global, expresso em energia primária total.

Serão estabelecidos valores de referência para cada um dos índices referidos, em função da funcionalidade e localização do edifício. Para que um edifício seja considerado um nZEB, os seus índices deverão ser significativamente mais reduzidos que os índices de referência correspondentes. (*Ecofys*, 2014).

- **Indicador de Energia Primária:**

Os limites para o consumo de energia primária, em função da funcionalidade e localização do edifício, ainda não se encontram disponíveis. Segundo o relatório da *Ecofys* (2014), os valores de referência para os índices acima mencionados serão validados com base nos resultados do método de cálculo dos níveis

ótimos de rentabilidade. Os resultados integrarão na próxima atualização do Pano Nacional de nZEB (BPIE, 2015).

- **Quota-parte de energia renovável:**

Será também obrigatório incluir energia proveniente de fontes renováveis nos novos edifícios e edifícios existentes submetidos a grandes renovações (Ecofys, 2014):

- Pelo menos 50% do consumo de energia para produção de AQS tem que ser coberta por energia proveniente de fontes renováveis.
- Pelo menos 35% do consumo total tem que ser coberto por energia proveniente de fontes renováveis. A partir do início de 2018, esta quota-parte será aumentada para 50%.
- Em edifícios novos, é obrigatória a instalação de determinada potência de sistemas de energia renovável para produção de energia elétrica, a qual varia de acordo com a área do edifício. Tal requisito será também aplicado a edifícios existentes submetidos a grandes renovações com uma área de pavimento útil superior a 1000 m<sup>2</sup>.

### **Letónia (LV)**

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB na Letónia (edifícios de classe A) é apresentada no Regulamento do Conselho nº. 383 (19 de Julho de 2013), o qual estabelece requisitos relativamente às necessidades de energia para aquecimento, energia primária total, sistemas técnicos do edifício e utilização de energia renovável.

Relativamente aos sistemas técnicos do edifício, é referido que em edifícios classificados como nZEB são utilizados sistemas com elevado desempenho energético e que não existem sistemas de aquecimento de baixa eficiência que utilizem combustíveis fósseis instalados no edifício (Ecofys, 2014).

- **Indicador de Energia Primária:**

As necessidades de energia primária não excedem os 95 kWh/(m<sup>2</sup>ano). É de notar que este requisito é estabelecido para todos os edifícios novos e edifícios existentes sujeitos a grande intervenção, independentemente da sua localização e funcionalidade (BPIE, 2015; Ecofys, 2014).

É também estabelecido um limite para as necessidades de energia para aquecimento: 30 kWh/(m<sup>2</sup>ano).

- **Quota-parte de energia renovável:**

É exigida, pelo menos, a utilização parcial de energia renovável. No entanto, não é estabelecido um valor numérico para a quota-parte de energia renovável (Ecofys, 2014).

### **Lituânia (LT)**

- **Definição aplicada na prática:**

Um nZEB é um edifício que cumpre os requisitos do Regulamento Técnico de Construção STR 2.01.09:2012 para edifícios de classe A<sup>++</sup> (Ecofys, 2014; eceee, 2014).

- **Indicador de Energia Primária:**

Não é estabelecido um valor numérico. Cada edifício é avaliado individualmente e o seu desempenho energético é definido através da sua classe energética. Tal como já foi referido, um nZEB tem que cumprir os requisitos estabelecidos para a classe A<sup>++</sup> (BPIE, 2015; Ecofys, 2014).

- **Quota-parte de energia renovável:**

O consumo energético de edifícios de classe A<sup>++</sup> têm que ser coberto maioritariamente por energia proveniente de fontes renováveis (*Ecofys*, 2014).

## **Luxemburgo (LU)**

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB para novos edifícios (residenciais e não residenciais) é baseada na utilização de energia para aquecimento e na utilização de energia primária total.

- **Indicador de Energia Primária:**

Para que um edifício seja classificado como nZEB tem que cumprir os requisitos estabelecidos para a classe energética A<sup>+</sup>, tanto a nível de energia utilizada para aquecimento como a nível de energia primária total.

## **Malta (MT)**

- **Definição aplicada na prática:**

A definição encontra-se atualmente em processo de revisão a nível nacional.

- **Indicador de Energia Primária:**

Foram estabelecidos valores máximos para o indicador de energia primária para as novas construções a partir de 2021, os quais, tal como foi referido anteriormente, se encontram em processo de revisão: 40 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para edifícios residenciais e 60 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para os restantes edifícios.

Não foram encontrados dados relativamente aos edifícios existentes sujeitos a grande intervenção.

- **Quota-parte de energia renovável:**

## **Polónia (PL)**

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB na Polónia encontra-se em fase de desenvolvimento, com o apoio da BPIE (*Buildings Performance Institute Europe*). Os requisitos relativos ao consumo energético em edifícios, apresentados na Portaria do Ministério das Infraestruturas (de 12 de Abril de 2002) serão a base para a definição de nZEB.

- **Indicador de Energia Primária:**

Os limites para o indicador de energia primária são aplicados às novas construções e dependem da funcionalidade do edifício: Para os edifícios residenciais o limite é de 65 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para habitações unifamiliares, 70 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para habitações multifamiliares e 75 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para residências coletivas. Em relação aos edifícios do sector público, o limite é de 70 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para edifícios agrícolas, armazéns e fábricas, 190 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para hospitais e 45 kWh/(m<sup>2</sup>ano) para os restantes edifícios.

Não foram encontrados dados relativamente aos valores de referência para edifícios existentes sujeitos a grandes renovações.

- **Quota-parte de energia renovável:**

Não foi encontrada qualquer informação relativamente a requisitos de utilização de energia proveniente de fontes renováveis.

## **Portugal (PT)**

- **Definição aplicada na prática:**

**Decreto-Lei nº118/2013** (Artigo 16º, Edifícios com necessidades quase nulas de energia):

2- “São edifícios com necessidades quase nulas de energia os que tenham um elevado desempenho energético e em que a satisfação das necessidades de energia resulte em grande medida de energia proveniente de fontes renováveis, designadamente produzida no local ou nas proximidades.”

- **Indicador de Energia Primária:**

Embora não esteja estabelecido um limite para a utilização de energia primária explicitamente para edifícios classificados como nZEB, são estabelecidos os seguintes requisitos para edifícios novos e edifícios existentes sujeitos a grande intervenção na legislação atual (Portaria n.º 349-B/2013): Valores máximos para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento; Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia primária. Tais valores dependem da zona climática e do tipo de edifício.

- **Quota-parte de energia renovável:**

Embora não seja estabelecido um valor mínimo para a quota-parte de renováveis, é referido o seguinte:

**Decreto-Lei nº118/2013** (Artigo 16º, Edifícios com necessidades quase nulas de energia):

5- “Os edifícios com necessidades quase nulas de energia são dotados de: (...)”

- b) Formas de captação local de energias renováveis que cubram grande parte do remanescente das necessidades energéticas previstas, de acordo com os modelos do REH e do RECS, de acordo com as seguintes formas de captação:
  - i) Preferencialmente, no próprio edifício ou na parcela de terreno onde está construído;
  - ii) Em complemento, em infraestruturas de uso comum tão próximas do local quanto possível, quando não seja possível suprir as necessidades de energia renovável com recurso à captação local prevista especificamente para o efeito.

## **Reino Unido (UK)**

- **Definição aplicada na prática:**

O Governo do Reino Unido desenvolveu o conceito de «Zero Carbon Homes» com o objetivo de melhorar a eficiência energética dos edifícios e reduzir significativamente as emissões de dióxido de carbono e outros gases com efeito de estufa. A partir de 2016, todos os novos edifícios residenciais serão Zero Carbon Homes e a partir de 2018, também os novos edifícios não-residenciais terão que cumprir tal requisito. (Ecofys, 2014). As Zero Carbon Homes são edifícios com um nível de emissões de CO<sub>2</sub> (resultantes do consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação fixa e ventilação) que não excede o limite estabelecido para o tipo de edifício em causa. Tais níveis de

referência são designados de «*Carbon Compliance Limit*» e são expressos em  $\text{kg CO}_{2(\text{eq})}/(\text{m}^2\text{ano})$  (*Zero Carbon Hub*).

Segundo o Governo do Reino Unido, a abordagem adotada para as *Zero Carbon Homes* cumpre os requisitos da definição de nZEB pelas seguintes razões (*Ecofys*, 2014):

- Espera-se que na prática a política de *Zero Carbon Homes* conduza a níveis elevados de energia renovável *on-site*, uma vez que as emissões de  $\text{CO}_2$  associadas à utilização de fontes renováveis são muito reduzidas.
- Similarmente, espera-se que tal encoraje o desenvolvimento de redes urbanas de aquecimento que, a longo prazo, poderão apresentar uma quota-parte de energia renovável muito elevada (energia renovável *nearby*).
- As tecnologias *low carbon* que não são classificadas como renováveis também têm um papel significativo nos principais objetivos da Diretiva.
- O Regulamento de Edificação para *Zero Carbon Homes* tem em conta todas as utilizações de energia exigidas pela Diretiva: aquecimento, arrefecimento, preparação de água quente ventilação e iluminação.

- **Indicador de Energia Primária:**

Segundo o BPIE (2015), o valor máximo de energia primária para novos edifícios residenciais é aproximadamente  $44 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ano})$ , sendo que o valor exato depende do tipo de edifício.

No entanto, tal como já foi referido anteriormente, o indicador principal para os edifícios no Reino Unido tem como base as emissões de dióxido de carbono e outros GEE. Os limites para tais emissões (*Carbon Compliance Limits*) variam entre 10 e  $14 \text{ kg CO}_{2(\text{eq})}/(\text{m}^2\text{ano})$ , dependendo do tipo de edifício.

- **Quota-parte de energia renovável:**

Embora não esteja estabelecido um limite numérico para a quota-parte de renováveis, os níveis reduzidos de  $\text{CO}_2$  dificilmente serão alcançáveis sem contribuição significativa de energias renováveis.

## República Checa (CZ)

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB oficial na República Checa, incluída no Regulamento nº 78/2013 Coll., é a definição apresentada na Reformulação do EPBD (ver capítulo 4.2. Definição de nZEB).

O edifício atinge (ou não) o estatuto de nZEB com base na comparação com um edifício de referência do mesmo tipo, dimensão, geometria, orientação, etc. (*Ecofys*, 2014).

- **Indicador de Energia Primária:**

O consumo de energia primária máximo é definido como uma percentagem do consumo de energia primária do edifício de referência correspondente. É de notar que na República Checa os cálculos são realizados com base em energia primária **não-renovável**. (BPIE, 2015).

Para os edifícios residenciais novos e submetidos a grandes renovações, o valor limite varia entre 75% e 80%, dependendo do edifício de referência. Para edifícios novos, o valor limite é de 90%.

## Roménia (RO)

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB na Roménia foi desenvolvida com o apoio do BPIE (*Buildings Performance Institute Europe*). Foram determinados valores limite para o consumo de energia primária em função da funcionalidade e localização do edifício (*Ecofys*, 2014).

- **Indicador de Energia Primária:**

Para edifícios residenciais o limite para o consumo de energia primária varia entre 93 e 217 kWh/(m<sup>2</sup>ano). Para edifícios não-residenciais, o limite varia entre 50 e 192 kWh/(m<sup>2</sup>ano). O valor de referência depende da funcionalidade e localização do edifício.

## Suécia (SE)

- **Definição aplicada na prática:**

A definição de nZEB a ser aplicada na Suécia encontra-se ainda em desenvolvimento. Atualmente, os requisitos para que um edifício seja considerado um nZEB são aqueles que são apresentados nos regulamentos de edificação atuais. No entanto, segundo o Governo Sueco, dado que a classificação de nZEB constituirá a referência para todos os novos edifícios a partir de 2021, tal deve incluir requisitos mais rigorosos para a economia de energia em comparação com os requisitos exigidos pelos regulamentos atuais. O Governo Sueco defende que, de momento, não existem dados suficientes para definir novos requisitos apropriados. Preferivelmente, tal deve ser avaliado numa base sólida envolvendo avaliações de edifícios existentes com baixo consumo energético, projetos de demonstração, análises económicas, etc. Assim sendo, está previsto que a definição seja reforçada gradualmente com base nos resultados dos estudos e análises referidos.

- **Indicador de Energia Primária:**

Atualmente, os valores máximos admissíveis para a utilização de energia primária são os seguintes: Para edifícios residenciais, o limite varia entre 30 e 75 kWh/(m<sup>2</sup>ano), dependendo da funcionalidade e zona climática do edifício. Para edifícios não-residenciais, o limite varia entre 30 e 105 kWh/(m<sup>2</sup>ano).

Não foram encontrados dados relativos a edifícios existentes sujeitos a grandes renovações.

- **Quota-parte de energia renovável:**

Não foi estabelecido um valor mínimo para a quota-parte de energia renovável. No entanto, a Suécia apresenta um valor para a quota-parte de energia renovável muito elevado em todos os setores, incluindo o setor dos edifícios. Assim sendo, é de esperar que, apesar de não ser estabelecido um requisito relativamente a tal, uma grande parte do consumo de energia primária nos novos edifícios seja de origem renovável.

## Anexo II: Cálculo do fator de energia primária para e eletricidade em Portugal

		2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005
<b>Produção de energia elétrica – Convencional [GWh/ano]</b>										
	$E_{Ff,el,conv}$	36 352	47 345	47 913	42 142	58 144	56 883	57 101	63 230	75 379
	$E_{Fren,el,conv}$	6 070	5 995	5 790	5 312	3 969	3 076	3 069	2 797	2 815
(20)	$E_{F,el,conv}$	42 422	53 340	53 703	47 455	62 114	59 958	60 170	66 027	78 194
	$E_{el,conv,bruta}$	16 050	21 586	23 102	20 791	27 334	27 046	26 481	28 611	33 053
(23)	$E_{cp,el,conv}$	1 443	1 565	1 523	1 499	1 776	1 596	1 427	1 895	1 734
(21)	$E_{el,conv}$	12 898	17 842	19 789	17 637	23 491	22 970	23 247	24 566	28 392
<b>Produção de energia elétrica – Renováveis [GWh/ano]</b>										
	$E_{el,ren,bruta}$	27 557	17 462	21 770	26 155	16 938	13 285	14 714	14 485	6 966
	$E_{cp,el,ren}$	1 459	1 331	738	512	929	639	540	703	568
(21)	$E_{el,ren}$	23 162	14 368	19 345	23 561	14 728	11 428	13 170	12 693	5 781
<b>Produção de energia elétrica separadamente – Convencional + Renováveis [GWh/ano]</b>										
(24)	$E_{F,el,sep}$	69 979	70 802	75 473	73 610	79 052	73 244	74 884	80 512	85 160
(25)	$E_{el,sep}$	36 060	32 210	39 134	41 198	38 219	34 398	36 417	37 259	34 174
<b>Cogeração [GWh/ano]</b>										
	$E_{Ff,chp}$	19 784	18 928	19 857	19 962	17 819	17 274	18 341	18 102	18 196
	$E_{Fren,chp}$	13 268	12 498	12 269	12 106	11 592	11 334	11 097	10 989	10 612
(20)	$E_{F,chp}$	33 051	31 426	32 126	32 068	29 411	28 608	29 438	29 091	28 808
	$E_{el,chp,bruta}$	8 084	7 575	7 600	7 167	5 948	5 646	6 067	5 954	5 813
	$E_{cp,el,chp}$	835	660	559	533	511	588	570	577	563
(21)	$E_{el,chp}$	6 388	6 150	6 452	6 064	4 988	4 540	5 083	4 929	4 735
	$E_{Q,chp,bruta}$	19 003	18 571	19 235	18 458	15 115	17 125	17 497	17 581	16 857
	$E_{cp,Q,chp}$	3 067	3 148	3 301	2 921	2 050	3 149	3 300	3 403	3 368
(26)	$E_{Q,chp}$	15 937	15 422	15 934	15 537	13 064	13 976	14 197	14 178	13 489
<b>Produção de energia térmica separadamente [GWh/ano]</b>										
	$E_{Ff,Q,ind}$	18 344	18 555	19 696	21 040	19 969	23 945	25 272	27 538	27 421
	$E_{Fren,Q,ind}$	1 452	2 783	1 460	6 863	7 200	7 157	7 052	6 778	6 521
(20)	$E_{F,Q,ind}$	19 796	21 338	21 155	27 903	27 169	31 102	32 323	34 317	33 942
	$E_{Ff,Q,edif}$	13 036	13 500	14 421	16 733	17 066	17 509	18 584	18 917	23 124
	$E_{Fren,Q,edif}$	10 210	9 970	10 172	8 778	13 917	13 809	13 772	13 755	13 740
(20)	$E_{F,Q,edif}$	23 246	23 470	24 593	25 511	30 983	31 318	32 356	32 672	36 864
	$E_{F,Q,sep}$	43 042	44 808	45 748	53 414	58 152	62 419	64 680	66 988	70 805
(27)	$E_{Q,sep}$	34 433	35 847	36 598	42 731	46 522	49 935	51 744	53 591	56 644
<b>Produção de energia elétrica: Total [GWh/ano]</b>										
	$E_{cp,el,tot}$	9 243	8 263	6 886	6 851	7 013	7 040	5 762	6 862	6 923
	$E_{d\&t,el,tot}$	5 508	4 707	4 067	4 307	3 798	4 217	3 225	3 687	4 058
(22)	$\alpha_{d\&t}$	0,11	0,10	0,08	0,08	0,08	0,09	0,07	0,08	0,09
	$E_{el,bruta,tot}$	51 691	46 623	52 473	54 113	50 220	45 977	47 262	49 050	45 832
(28)	$E_{el,tot}$	42 448	38 360	45 586	47 262	43 207	38 938	41 500	42 188	38 909
<b>Produção de energia térmica: Total [GWh/ano]</b>										
	$E_{Q,bruta,tot}$	53 437	54 417	55 833	61 189	61 636	67 060	69 241	71 171	73 502
(29)	$E_{Q,tot}$	50 370	51 269	52 532	58 268	59 586	63 911	65 941	67 769	70 134



**2013    2012    2011    2010    2009    2008    2007    2006    2005**

**Fatores de energia primária para a produção de energia separadamente**

(31)	$f_{el,sep}$	tot	1,94	2,20	1,93	1,79	2,07	2,13	2,06	2,16	2,49
(32)		nren	1,01	1,47	1,22	1,02	1,52	1,65	1,57	1,70	2,21
(33)	$f_{Q,sep}$	tot	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
(35)		nren	0,91	0,89	0,93	0,88	0,80	0,83	0,85	0,87	0,89

**Fatores de energia primária para a cogeração**

(58)	$f_{F,chp}$	tot	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		nren	0,60	0,60	0,62	0,62	0,61	0,60	0,62	0,62	0,63
(41)	$\sigma_{chp}$		0,40	0,40	0,40	0,39	0,38	0,32	0,36	0,35	0,35
(42)	$\eta_{chp}$		0,68	0,69	0,70	0,67	0,61	0,65	0,65	0,66	0,63
(48)	$\gamma_{el,chp}$		0,15	0,16	0,14	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	$\gamma_{Q,chp}$		0,32	0,30	0,30	0,27	0,22	0,22	0,22	0,21	0,19
(44)	$\sigma_{loc}$		0,84	0,75	0,87	0,81	0,73	0,61	0,63	0,62	0,55
(53)	$a$	tot	0,94	0,95	1,00	0,85	0,81	0,74	0,74	0,78	0,77
		nren	0,49	0,63	0,64	0,49	0,60	0,58	0,57	0,61	0,68
(54)	$b$	tot	-0,67	-0,60	-0,70	-0,59	-0,50	-0,45	-0,44	-0,45	-0,38
		nren	-0,36	-0,31	-0,38	-0,34	-0,25	-0,24	-0,24	-0,25	-0,22
(55)	$c$	tot	-0,19	-0,18	-0,21	-0,20	-0,17	-0,13	-0,14	-0,14	-0,12
		nren	-0,14	-0,13	-0,16	-0,14	-0,11	-0,08	-0,10	-0,10	-0,09
(57)	$\phi_{loc}$	tot	0,94	0,85	0,93	0,94	0,85	0,81	0,82	0,80	0,72
		nren	1,02	0,75	0,89	0,98	0,68	0,64	0,68	0,65	0,56
(47)	$f_{el,chp}$	tot	1,45	1,39	1,40	1,46	1,55	1,46	1,45	1,43	1,43
		nren	0,89	0,80	0,86	0,92	0,87	0,82	0,85	0,83	0,83
(47)	$f_{Q,chp}$	tot	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		nren	0,60	0,60	0,62	0,62	0,61	0,60	0,62	0,62	0,63

**Fatores de energia primária globais para a eletricidade**

(19)	$f_{el,loc}$	tot	<b>1,88</b>	<b>2,11</b>	<b>1,87</b>	<b>1,76</b>	<b>2,04</b>	<b>2,09</b>	<b>2,02</b>	<b>2,12</b>	<b>2,43</b>
		nren	<b>0,99</b>	<b>1,41</b>	<b>1,19</b>	<b>1,01</b>	<b>1,49</b>	<b>1,61</b>	<b>1,53</b>	<b>1,65</b>	<b>2,12</b>



Metodologias para a classificação de edifícios de balanço de energia nulo (NZEB) aplicadas a um edifício residencial

		2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996
<b>Produção de energia elétrica – Convencional [GWh/ano]</b>										
	$E_{Ff,el,conv}$	62 954	58 694	75 171	62 947	63 231	74 339	57 152	45 629	42 988
	$E_{Fren,el,conv}$	2 487	2 423	2 298	2 030	2 027	662	0	0	0
(20)	$E_{F,el,conv}$	65 441	61 117	77 469	64 977	65 258	75 001	57 152	45 629	42 988
	$E_{el,conv,bruta}$	28 670	25 203	32 257	27 192	26 942	30 229	21 336	16 780	16 059
(23)	$E_{cp,el,conv}$	1 925	1 572	1 666	1 677	1 582	1 569	1 542	1 379	1 364
(21)	$E_{el,conv}$	24 166	21 543	28 137	23 143	23 066	26 063	18 009	13 871	13 128
<b>Produção de energia elétrica – Renováveis [GWh/ano]</b>										
	$E_{el,ren,bruta}$	11 052	16 646	8 719	14 739	11 965	7 835	13 203	13 266	14 930
	$E_{cp,el,ren}$	408	485	670	485	558	491	101	100	137
(21)	$E_{el,ren}$	9 650	14 782	7 385	12 968	10 389	6 671	11 998	11 957	13 337
<b>Produção de energia elétrica separadamente – Convencional + Renováveis [GWh/ano]</b>										
(24)	$E_{F,el,sep}$	76 493	77 763	86 188	79 716	77 223	82 837	70 356	58 895	57 918
(25)	$E_{el,sep}$	33 815	36 325	35 523	36 112	33 455	32 735	30 007	25 828	26 465
<b>Cogeração [GWh/ano]</b>										
	$E_{Ff,chp}$	17 163	16 820	16 696	15 962	17 121	17 833	16 150	14 912	13 673
	$E_{Fren,chp}$	10 674	10 568	10 760	9 847	10 371	10 375	9 939	10 082	9 038
(20)	$E_{F,chp}$	27 838	27 388	27 456	25 810	27 492	28 208	26 089	24 994	22 711
	$E_{el,chp,bruta}$	5 384	5 012	5 084	4 586	4 801	5 163	4 405	4 052	3 528
	$E_{cp,el,chp}$	528	544	550	504	460	500	500	464	435
(21)	$E_{el,chp}$	4 372	4 052	4 148	3 682	3 932	4 219	3 537	3 218	2 748
	$E_{Q,chp,bruta}$	15 829	15 723	15 176	14 703	15 132	15 781	14 089	14 392	13 356
	$E_{cp,Q,chp}$	3 142	3 447	3 384	3 104	2 868	3 418	3 064	3 117	2 544
(26)	$E_{Q,chp}$	12 686	12 276	11 792	11 599	12 264	12 364	11 025	11 275	10 812
<b>Produção de energia térmica separadamente [GWh/ano]</b>										
	$E_{Ff,Q,ind}$	22 339	21 871	23 674	22 420	23 607	22 004	22 273	21 405	19 209
	$E_{Fren,Q,ind}$	6 335	6 249	5 912	6 252	5 910	5 872	5 637	5 578	5 559
(20)	$E_{F,Q,ind}$	28 674	28 120	29 586	28 672	29 517	27 876	27 910	26 983	24 767
	$E_{Ff,Q,edif}$	24 646	23 327	21 862	20 814	19 342	18 659	17 071	14 795	13 634
	$E_{Fren,Q,edif}$	13 475	13 377	13 142	13 142	13 084	13 142	13 316	13 433	13 390
(20)	$E_{F,Q,edif}$	38 120	36 704	35 004	33 956	32 425	31 801	30 388	28 227	27 024
	$E_{F,Q,sep}$	66 794	64 824	64 590	62 628	61 942	59 677	58 298	55 211	51 791
(27)	$E_{Q,sep}$	53 436	51 859	51 672	50 102	49 554	47 742	46 638	44 169	41 433
<b>Produção de energia elétrica: Total [GWh/ano]</b>										
	$E_{cp,el,tot}$	6 919	6 483	6 389	6 723	6 321	6 274	5 400	5 051	5 303
	$E_{d\&t,el,tot}$	4 058	3 882	3 503	4 057	3 721	3 714	3 257	3 108	3 366
(22)	$\alpha_{d\&t}$	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09	0,10
	$E_{el,bruta,tot}$	45 106	46 860	46 059	46 516	43 708	43 228	38 944	34 098	34 516
(28)	$E_{el,tot}$	38 187	40 377	39 671	39 794	37 387	36 954	33 544	29 046	29 213
<b>Produção de energia térmica: Total [GWh/ano]</b>										
	$E_{Q,bruta,tot}$	69 264	67 583	66 847	64 806	64 686	63 523	60 727	58 561	54 789
(29)	$E_{Q,tot}$	66 122	64 135	63 463	61 702	61 818	60 106	57 663	55 444	52 245

		2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	
Fatores de energia primária para a produção de energia separadamente											
(31)	$f_{el,sep}$	tot	2,26	2,14	2,43	2,21	2,31	2,53	2,34	2,28	2,19
(32)		nren	1,86	1,62	2,12	1,74	1,89	2,27	1,90	1,77	1,62
(33)	$f_{Q,sep}$	tot	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
(35)		nren	0,88	0,87	0,88	0,86	0,87	0,85	0,84	0,82	0,79
Fatores de energia primária para a cogeração											
(58)	$f_{F,chg}$	tot	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		nren	0,62	0,61	0,61	0,62	0,62	0,63	0,62	0,60	0,60
(41)	$\sigma_{chp}$		0,34	0,33	0,35	0,32	0,32	0,34	0,32	0,29	0,25
(42)	$\eta_{chp}$		0,61	0,60	0,58	0,59	0,59	0,59	0,56	0,58	0,60
(48)	$\gamma_{el,chg}$		0,11	0,10	0,10	0,09	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09
	$\gamma_{Q,chg}$		0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,21	0,19	0,20	0,21
(44)	$\sigma_{loc}$		0,58	0,63	0,63	0,64	0,60	0,61	0,58	0,52	0,56
(53)	a	tot	0,71	0,72	0,79	0,76	0,74	0,81	0,68	0,62	0,66
		nren	0,58	0,55	0,69	0,60	0,60	0,73	0,55	0,48	0,49
(54)	b	tot	-0,39	-0,43	-0,42	-0,46	-0,43	-0,44	-0,39	-0,37	-0,43
		nren	-0,22	-0,24	-0,23	-0,25	-0,23	-0,22	-0,20	-0,19	-0,21
(55)	c	tot	-0,12	-0,13	-0,13	-0,12	-0,11	-0,12	-0,11	-0,09	-0,08
		nren	-0,09	-0,09	-0,09	-0,08	-0,08	-0,08	-0,07	-0,06	-0,05
(57)	$\phi_{loc}$	tot	0,77	0,81	0,75	0,80	0,78	0,75	0,77	0,78	0,80
		nren	0,62	0,68	0,57	0,63	0,60	0,53	0,59	0,60	0,61
(47)	$f_{el,chg}$	tot	1,52	1,59	1,59	1,59	1,59	1,57	1,67	1,62	1,60
		nren	0,87	0,92	0,88	0,92	0,91	0,87	0,95	0,89	0,89
(47)	$f_{Q,chg}$	tot	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		nren	0,62	0,61	0,61	0,62	0,62	0,63	0,62	0,60	0,60
Fatores de energia primária globais para a eletricidade											
(19)	$f_{el,loc}$	tot	2,23	2,12	2,39	2,19	2,28	2,48	2,33	2,26	2,17
		nren	1,81	1,59	2,06	1,72	1,85	2,20	1,87	1,74	1,61

		1995	1994	1993	1992	1991	1990
<b>Produção de energia elétrica – Convencional [GWh/ano]</b>							
	$E_{Ff,el,conv}$	55 548	45 997	50 457	57 650	48 455	45 893
	$E_{Fren,el,conv}$	0	0	0	0	0	0
(20)	$E_{F,el,conv}$	55 548	45 997	50 457	57 650	48 455	45 893
	$E_{el,conv,bruta}$	21 177	17 550	19 867	22 788	18 858	17 600
(23)	$E_{cp,el,conv}$	1 428	1 223	1 306	1 416	1 256	1 256
(21)	$E_{el,conv}$	17 578	14 474	16 612	19 178	15 586	14 302
<b>Produção de energia elétrica – Renováveis [GWh/ano]</b>							
	$E_{el,ren,bruta}$	8 514	10 754	8 754	5 084	9 184	9 309
	$E_{cp,el,ren}$	159	63	284	611	190	209
(21)	$E_{el,ren}$	7 482	9 556	7 611	3 983	8 012	8 020
<b>Produção de energia elétrica separadamente [GWh/ano]</b>							
(24)	$E_{F,el,sep}$	64 062	56 751	59 210	62 734	57 639	55 201
(25)	$E_{el,sep}$	25 060	24 030	24 223	23 162	23 598	22 322
<b>Cogeração [GWh/ano]</b>							
	$E_{Ff,chp}$	13 722	12 866	10 577	9 812	8 662	8 731
	$E_{Fren,chp}$	9 459	8 711	8 637	8 560	8 265	6 648
(20)	$E_{F,chp}$	23 181	21 577	19 214	18 372	16 927	15 380
	$E_{el,chp,bruta}$	3 568	3 113	2 581	2 167	1 795	1 599
	$E_{cp,el,chp}$	459	445	364	353	351	385
(21)	$E_{el,chp}$	2 743	2 339	1 964	1 605	1 252	1 028
	$E_{Q,chp,bruta}$	13 609	13 036	11 626	11 223	11 369	10 403
	$E_{cp,Q,chp}$	2 997	2 930	2 336	2 235	2 609	2 778
(26)	$E_{Q,chp}$	10 612	10 106	9 289	8 988	8 760	7 625
<b>Produção de energia térmica separadamente [GWh/ano]</b>							
	$E_{Ff,Q,ind}$	17 832	18 112	17 770	18 864	18 853	17 895
	$E_{Fren,Q,ind}$	5 224	5 182	5 254	5 366	5 493	5 511
(20)	$E_{F,Q,ind}$	23 056	23 294	23 024	24 229	24 346	23 406
	$E_{Ff,Q,edif}$	12 520	12 656	11 919	11 389	10 635	9 912
	$E_{Fren,Q,edif}$	13 351	13 342	13 485	13 790	14 271	14 946
(20)	$E_{F,Q,edif}$	25 871	25 998	25 404	25 179	24 907	24 858
	$E_{F,Q,sep}$	48 927	49 292	48 428	49 408	49 253	48 264
(27)	$E_{Q,sep}$	39 142	39 434	38 743	39 527	39 402	38 612
<b>Produção de energia elétrica: Total [GWh/ano]</b>							
	$E_{cp,el,tot}$	5 456	5 047	5 014	5 272	4 987	5 158
	$E_{d\&t,el,tot}$	3 409	3 316	3 060	2 892	3 190	3 307
(22)	$\alpha_{d\&t}$	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11	0,12
	$E_{el,bruta,tot}$	33 259	31 416	31 201	30 039	29 837	28 508
(28)	$E_{el,tot}$	27 803	26 369	26 187	24 767	24 850	23 350
<b>Produção de energia térmica: Total [GWh/ano]</b>							
	$E_{Q,bruta,tot}$	52 751	52 469	50 368	50 749	50 771	49 014
(29)	$E_{Q,tot}$	49 754	49 539	48 032	48 515	48 162	46 237

1995 1994 1993 1992 1991 1999

**Fatores de energia primária para a produção de energia separadamente**

(31)	$f_{el,sep}$	tot	2,56	2,36	2,44	2,71	2,44	2,47
(32)		nren	2,22	1,91	2,08	2,49	2,05	2,06
(33)	$f_{Q,sep}$	tot	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
(35)		nren	0,78	0,78	0,77	0,77	0,75	0,72

**Fatores de energia primária para a cogeração**

(58)	$f_{F,chg}$	tot	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		nren	0,59	0,60	0,55	0,53	0,51	0,57
(41)	$\sigma_{chg}$		0,26	0,23	0,21	0,18	0,14	0,13
(42)	$\eta_{chg}$		0,58	0,58	0,59	0,58	0,59	0,56
(48)	$\gamma_{el,chg}$		0,10	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04
	$\gamma_{Q,chg}$		0,21	0,20	0,19	0,19	0,18	0,16
(44)	$\sigma_{loc}$		0,56	0,53	0,55	0,51	0,52	0,51
(53)	a	tot	0,74	0,66	0,72	0,75	0,71	0,67
		nren	0,64	0,54	0,62	0,69	0,60	0,56
(54)	b	tot	-0,45	-0,42	-0,45	-0,45	-0,46	-0,43
		nren	-0,20	-0,20	-0,21	-0,20	-0,21	-0,19
(55)	c	tot	-0,08	-0,07	-0,07	-0,05	-0,04	-0,04
		nren	-0,05	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03	-0,02
(57)	$\phi_{loc}$	tot	0,75	0,77	0,75	0,70	0,74	0,72
		nren	0,48	0,53	0,48	0,40	0,45	0,43
(47)	$f_{el,chg}$	tot	1,62	1,64	1,61	1,63	1,62	1,70
		nren	0,84	0,88	0,79	0,76	0,75	0,87
(47)	$f_{Q,chg}$	tot	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		nren	0,59	0,60	0,55	0,53	0,51	0,57

**Fatores de energia primária globais para a eletricidade**

(19)	$f_{el,loc}$	tot	2,52	2,34	2,42	2,68	2,43	2,47
		nren	2,17	1,89	2,05	2,45	2,03	2,05

### Anexo III: Determinação da quota-parte de energia renovável no *mix* elétrico português

			2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002
		<b>Produção bruta de energia elétrica a partir de:</b>											
1	<b>E<sub>el,bruta,i</sub></b>	Carvão	13 087	9 848	7 100	12 896	11 196	12 398	14 958	15 226	14 858	14 527	15 212
2		Petróleo	2 190	2 684	3 008	3 285	4 148	4 870	5 247	8 791	5 698	6 273	11 407
3		Gás Natural	10 670	14 916	14 900	14 712	15 199	13 124	12 343	13 606	11 689	7 740	9 037
4		Biocombustíveis	2 705	2 628	2 326	1 796	1 572	1 588	1 412	1 386	1 279	1 115	1 211
5		Resíduos	499	617	616	588	571	562	599	601	531	554	523
6		Hidroelétrica	6 660	12 115	16 547	9 009	7 296	10 449	11 467	5 118	10 147	16 054	8 257
7		Geotérmica	146	210	197	184	192	201	85	71	84	90	96
8		Solar Fotovoltaico	393	280	211	160	38	24	5	3	3	3	2
9		Eólica	10 259	9 161	9 182	7 577	5 757	4 037	2 925	1 773	816	496	362
10		Outras fontes	5	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0
11 (1 a 3)	<b>E<sub>el,bruta</sub><sup>ren</sup></b>	Produção bruta de origem não-renovável	25 947	27 448	25 008	30 893	30 543	30 392	32 548	37 623	32 245	28 540	35 656
12 (4 a 10)	<b>E<sub>el,bruta</sub><sup>ren</sup></b>	Produção bruta de origem renovável	20 662	25 011	29 079	19 314	15 426	16 861	16 493	8 952	12 860	18 312	10 451
13 (11+12)	<b>E<sub>el,bruta,tot</sub></b>	<b>Produção bruta total</b>	46 614	52 463	54 090	50 207	45 969	47 253	49 041	46 575	45 105	46 852	46 107
14 (12/14)	<b>%RE</b>	<b>Quota-parte de renováveis</b>	44,3%	47,7%	53,8%	38,5%	33,6%	35,7%	33,6%	19,2%	28,5%	39,1%	22,7%
15	<b>E<sub>cp,el,tot</sub></b>	Consumo próprio da produção de energia	3 561	2 822	2 545	3 336	2 864	2 537	3 033	2 865	2 861	2 601	3 031
16	<b>E<sub>d&amp;t,el,tot</sub></b>	Perdas de distribuição e transporte	4 707	4 090	4 280	3 792	4 184	3 180	3 686	4 212	4 057	3 881	3 502
17 (15+16)	<b>E<sub>cpSE,el,tot</sub></b>	Consumo do sector energético	8 268	6 912	6 825	7 128	7 048	5 717	6 719	7 077	6 918	6 482	6 533
18 (13-17)	<b>E<sub>el,tot</sub></b>	<b>Produção líquida total</b>	38 346	45 551	47 265	43 079	38 921	41 536	42 322	39 498	38 187	40 370	39 574

			2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990
		<b>Produção bruta de energia elétrica a partir de:</b>												
1	<b>E<sub>el,bruta,i</sub></b>	Carvão	13 622	14 688	15 131	12 055	13 041	12 593	13 456	11 647	11 458	10 256	9 811	9 104
2		Petróleo	9 338	8 421	11 009	10 687	6 776	6 040	10 308	8 048	10 094	13 866	10 070	9 399
3		Gás Natural	7 212	7 138	8 074	2 018	89	0	0	0	0	0	0	0
4		Biocombustíveis	1 089	1 039	1 081	1 022	1 037	960	988	934	901	882	808	689
5		Resíduos	511	514	157	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6		Hidroelétrica	14 375	11 715	7 631	13 054	13 175	14 857	8 454	10 702	8 737	5 074	9 176	9 303
7		Geotérmica	105	80	80	58	51	49	42	33	4	5	5	4
8		Solar Fotovoltaico	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9		Eólica	256	168	123	89	38	21	16	17	11	4	1	1
10		Outras fontes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 (1 a 3)	<b>E<sub>nren,el,bruta</sub></b>	Produção bruta de origem não-renovável	30 172	30 247	34 214	24 760	19 906	18 633	23 764	19 695	21 552	24 122	19 881	18 503
12 (4 a 10)	<b>E<sub>ren,el,bruta</sub></b>	Produção bruta de origem renovável	16 337	13 517	9 073	14 224	14 302	15 888	9 501	11 687	9 654	5 966	9 991	9 998
13 (11+12)	<b>E<sub>el,bruta,tot</sub></b>	<b>Produção bruta total</b>	46 509	43 764	43 287	38 984	34 208	34 521	33 265	31 382	31 206	30 088	29 872	28 501
14 (12/14)	<b>%RE</b>	<b>Quota-parte de renováveis</b>	35,1%	30,9%	21,0%	36,5%	41,8%	46,0%	28,6%	37,2%	30,9%	19,8%	33,4%	35,1%
15	<b>E<sub>cp,el,tot</sub></b>	Consumo próprio da produção de energia	2 754	2 673	2 659	2 172	1 950	1 934	2 045	1 729	1 951	2 372	1 794	1 832
16	<b>E<sub>d&amp;t,el,tot</sub></b>	Perdas de distribuição e transporte	4 057	3 649	3 648	3 240	3 217	3 469	3 330	3 586	3 448	3 404	3 304	3 162
17 (15+16)	<b>E<sub>cpSE,el,tot</sub></b>	Consumo do sector energético	6 811	6 322	6 307	5 412	5 167	5 403	5 375	5 315	5 399	5 776	5 098	4 994
18 (13-17)	<b>E<sub>el,tot</sub></b>	<b>Produção líquida total</b>	39 698	37 442	36 980	33 572	29 041	29 118	27 890	26 067	25 807	24 312	24 774	23 507

## Anexo IV: Cálculos dos balanços de energia

### 1. Balanço do ponto de vista da fonte (*Source Energy Balance*)

Seguidamente é apresentada a metodologia utilizada para calcular os balanços de energia e os indicadores de desempenho energético. Será utilizado como exemplo o balanço com base nos fatores de energia primária recomendados pela EN 15603:2008 (ver Tabela 15, secção 7.3) e considerando que os sistemas técnicos do edifício cumprem os requisitos mínimos de eficiência energética estabelecidos na Portaria n.º 349-B/2013 (cenários A). Os cálculos para todos os outros cenários são semelhantes aos apresentados de seguida.

Tabela 31 – Cálculo dos balanços de energia (carga vs geração, balanço líquido, energia importada vs energia exportada) para cada um dos cinco cenários de oferta de energia do tipo A), considerando os fatores de energia primária recomendados pela EN 15603 (Europa).

Cenário		Necessidades de energia			Produção de energia		
		Caldeira a gás	Caldeira biomassa	Bomba de calor (el)	Bomba de calor	Coletor Solar	Painel PV
1	A	49,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2		34,8	0,0	0,0	0,0	13,6	0,0
3		0,0	41,8	0,0	0,0	13,6	0,0
4		0,0	0,0	9,2	31,4	13,6	0,0
5		0,0	0,0	9,2	31,4	13,6	35,2

Balanço Carga vs Geração									
Carga (ponderada)						Geração (ponderada)			Balanço
	Comb. Fósseis	Comb. Renováveis	En.térmica (ren)	Elettricidade	Total	Energia térmica	Elettricidade	Total	
1	67,9	0,0	0,0	0,0	67,9	0,0	0,0	0,0	-67,9
2	47,4	0,0	13,6	0,0	61,0	13,6	0,0	13,6	-47,4
3	0,0	44,3	13,6	0,0	57,9	13,6	0,0	13,6	-44,3
4	0,0	0,0	13,6	30,4	44,0	13,6	0,0	13,6	-30,4
5	0,0	0,0	13,6	30,4	44,0	13,6	116,4	130,0	86,0

Balanço Líquido									
Carga líquida (ponderada)						Geração líquida (ponderada)			Balanço
	Comb. Fósseis	Comb. Renováveis	En.térmica (ren)	Elettricidade	Total	Energia térmica	Elettricidade	Total	
1	67,9	0,0	0,0	0,0	67,9	0,0	0,0	0,0	-67,9
2	47,4	0,0	0,0	0,0	47,4	0,0	0,0	0,0	-47,4
3	0,0	44,3	0,0	0,0	44,3	0,0	0,0	0,0	-44,3
4	0,0	0,0	0,0	30,4	30,4	0,0	0,0	0,0	-30,4
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	86,0	86,0	86,0

Balanço Energia Importada vs Energia Exportada									
	Energia importada (ponderada)					Energia exportada (ponderada)			Balanço
	Comb. Fósseis	Comb. Renováveis	En.térmica (ren)	Eletricidade	Total	Energia térmica	Eletricidade	Total	
1	67,9	0,0	0,0	0,0	67,9	0,0	0,0	0,0	-67,9
2	47,4	0,0	0,0	0,0	47,4	0,0	0,0	0,0	-47,4
3	0,0	44,3	0,0	0,0	44,3	0,0	0,0	0,0	-44,3
4	0,0	0,0	0,0	30,4	30,4	0,0	0,0	0,0	-30,4
5	0,0	0,0	0,0	21,3	21,3	0,0	107,3	107,3	86,0

Tabela 32 – Cálculo do indicador de energia primária não-renovável, indicador de emissões de CO<sub>2</sub> e fração de energia renovável para cada um dos cinco cenários de oferta de energia do tipo A), considerando os fatores de energia primária recomendados pela EN 15603 (Europa).

Cálculo do indicador de energia primária									
	Energia importada (ponderada)					Energia exportada (ponderada)			Indicador de Energia Primária [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ano)]
	Comb. Fósseis	Comb. Renováveis	En.térmica (ren)	Eletricidade	Total	Energia térmica	Eletricidade	Total	
1	67,9	0,0	0,0	0,0	67,9	0,0	0,0	0,0	67,9
2	47,4	0,0	0,0	0,0	47,4	0,0	0,0	0,0	47,4
3	0,0	2,5	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	2,5
4	0,0	0,0	0,0	28,9	28,9	0,0	0,0	0,0	28,9
5	0,0	0,0	0,0	20,2	20,2	0,0	101,8	101,8	-81,6

Cálculo do indicador de emissões de CO <sub>2</sub>									
	Energia importada (ponderada)					Energia exportada (ponderada)			Indicador de Emissões de CO <sub>2</sub> [kgCO <sub>2</sub> /(m <sup>2</sup> ano)]
	Comb. Fósseis	Comb. Renováveis	En.térmica (ren)	Eletricidade	Total	Energia térmica	Eletricidade	Total	
1	13,8	0,0	0,0	0,0	13,8	0,0	0,0	0,0	13,8
2	9,6	0,0	0,0	0,0	9,6	0,0	0,0	0,0	9,6
3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2
4	0,0	0,0	0,0	5,7	5,7	0,0	0,0	0,0	5,7
5	0,0	0,0	0,0	4,0	4,0	0,0	20,0	20,0	-16,0

Cálculo da fracção de energia renovável (RER)											
Produção de energia renovável					Energia renovável importada					[1]	Fracção de Energia Renovável (%)
					Comb. Fósseis	Comb. Renováveis	En. térmica	En. elétrica	Total		
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	67,9	0,0%
2	0,0	13,6	0,0	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	22,3%
3	0,0	13,6	0,0	13,6	0,0	41,8	0,0	0,0	41,8	44,3	95,7%
4	22,2	13,6	0,0	35,8	0,0	0,0	0,0	1,6	1,6	30,4	56,4%
5	22,2	13,6	35,2	71,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1	-86,0	-478,9%

[1] Diferença entre energia importada e energia exportada, ambas ponderadas com o fator de energia primária total.



